



**ALEXANDRE SENA  
OUTEIRO**

**APLICABILIDADE DE RCD EM CAMADAS NÃO  
LIGADAS DE PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS**





**ALEXANDRE SENA  
OUTEIRO**

**APLICABILIDADE DE RCD EM CAMADAS NÃO  
LIGADAS DE PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, realizada sob a orientação científica do Doutor Agostinho António Rocha Correia e Almeida da Benta, Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro



*“Os problemas significativos que enfrentamos não podem ser resolvidos no mesmo nível de pensamento em que estávamos quando os criámos.”*

Albert Einstein



## **o júri**

presidente

Professora Doutora Ana Luísa Pinheiro Lomelino Velosa  
Professora Associado da Universidade de Aveiro

arguente

Professora Doutora Rosa Paula da Conceição Luzia  
Professora Adjunta do Instituto Politécnico de Castelo Branco

orientador

Professor Doutor Agostinho António Rocha Correia e Almeida da Benta  
Professora Auxiliar da Universidade de Aveiro





## **agradecimentos**

A realização de um trabalho desta natureza não é possível sem a participação de intervenientes exteriores ao autor. Por isto, gostaria de reconhecer todo o apoio fornecido nesta etapa, sem o qual esta dissertação não seria exequível.

Ao Professor Doutor Agostinho Benta, pela orientação e disponibilidade dos seus conhecimentos.

À empresa “Recivagos, Lda”, pelo fornecimento das amostras granulares, em especial à Eng<sup>a</sup> Maria Martins e ao Sr. Jorge Laranjeiro, pela simpatia e disponibilidade total no fornecimento das amostras.

À empresa “Rosas Construtores SA”, pelo fornecimento da amostra betuminosa.

Ao Instituto Politécnico de Castelo Branco, pela disponibilização dos meios para a realização do ensaio de índice de achatamento

Ao Eng<sup>o</sup> Luís Barbosa, colaborador do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro, pelo apoio e acompanhamento.

Aos responsáveis e técnicos do laboratório do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro, em especial à Eng<sup>a</sup> Maria Carlos e ao Sr. Vítor Rodrigues, pela ajuda e apoio na execução dos ensaios laboratoriais.

Aos meus amigos, pela força e exemplo.

À minha família, em especial aos meus pais e irmã, pela paciência, compreensão, apoio e carinho.



## **palavras-chave**

Resíduos de construção e demolição, pavimentos rodoviários, camadas não ligadas, agregados reciclados, caracterização laboratorial.

## **resumo**

A presente dissertação visou contribuir para o estudo da viabilidade da aplicação de agregados provenientes de resíduos de construção e demolição em camadas não ligadas de pavimentos rodoviários.

A gestão dos resíduos provenientes de obras de engenharia civil ainda é limitada pela falta de informação sobre a potencialidade de reciclagem que estes materiais possuem. Assim, torna-se evidente que a caracterização laboratorial destes materiais é um instrumento valioso para a promoção da possível aplicabilidade dos agregados reciclados provenientes de resíduos de construção e demolição.

Uma das alternativas ao aterro é a britagem e reutilização destes resíduos em camadas não ligadas de pavimentos rodoviários, sector da construção civil que é tipicamente grande de consumidor de agregados naturais.

Neste trabalho foram caracterizadas fisicamente em laboratório 7 amostras de agregados reciclados, sendo uma delas de origem betuminosa. De seguida, foram aplicados os critérios de utilização destes materiais que constam nas especificações LNEC E473 e E474, para analisar a sua aplicabilidade nas camadas não ligadas de pavimentos rodoviários. Foi também realizada uma comparação dos critérios LNEC para agregados reciclados com os critérios das “Estradas de Portugal” para agregados naturais, nas mesmas camadas consideradas dos pavimentos rodoviários, e uma análise estatística de alguns parâmetros em estudo, de modo a promover relações entre eles.



**keywords**

Construction waste and demolition, road pavements, unbound layers, recycled aggregates, laboratory characterization.

**abstract**

This work aimed to contribute to the aggregate feasibility study of waste from construction and demolition in unbound layers of road pavements.

Waste management from civil engineering works is still limited by the lack of information potential of recycling these materials have. Thus, it is clear that the laboratory characterization of such materials is a valuable instrument for the promotion of the application of recycled aggregates from construction and demolition waste.

One of the alternatives to landfill is the crushing and reuse of these waste in unbound layers of road pavements, the construction industry that is typically a large consumer of natural aggregates.

In this work were physically characterized in the laboratory 7 samples of recycled aggregates, one of bitumen origin. Then, the conditions of use contained in LNEC's specifications E473 and E474 were applied to these materials to analyze their applicability in the unbound layers of road pavements. A comparison was also made between the LNEC criteria for recycled aggregates with the criteria of "Estradas de Portugal" for natural aggregates in the same layers of road pavements considered, and a statistical analysis of some parameters under study, in order to promote relations between them.



## Índice

Índice de Figuras.....	iii
Índice de Quadros .....	v
Acrónimos e Símbolos .....	vii
1 INTRODUÇÃO .....	1
1.1 Enquadramento e relevância do tema .....	1
1.2 Objetivos e metodologia .....	2
1.3 Estrutura do trabalho .....	3
2 RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO .....	5
2.1 Resíduos. Considerações gerais.....	5
2.2 Resíduos na Construção Civil .....	9
2.3 Reciclagem de RCD.....	11
2.4 Enquadramento legal e normativo .....	14
3 APLICABILIDADE DE RCD EM CAMADAS NÃO LIGADAS DE PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS .....	15
3.1 Pavimentos rodoviários. Considerações gerais .....	15
3.2 Agregados reciclados nas camadas não ligadas .....	19
3.2.1 Camadas de aterro e leito de pavimento .....	20
3.2.2 Base e sub-base granular.....	22
4 TRABALHO EXPERIMENTAL DE CARACTERIZAÇÃO .....	25
4.1 Pontos de recolha das amostras de RCD.....	25
4.2 Descrição visual das amostras .....	27
4.2.1 Amostra 1 .....	27
4.2.2 Amostra 2 .....	28
4.2.3 Amostra 2-B .....	29
4.2.4 Amostra 3 .....	30

4.2.5	Amostra 3-B.....	31
4.2.6	Amostra 4.....	32
4.2.7	Amostra 5.....	33
4.3	Campanha de ensaios .....	34
4.3.1	Considerações prévias .....	34
4.3.2	Granulometria .....	36
4.3.3	Qualidade e teor dos finos. Equivalente de areia e azul-de-metileno .....	39
4.3.4	Classificação de agregados grossos reciclados .....	43
4.3.5	Percentagem de superfícies esmagadas e partidas .....	47
4.3.6	Proctor modificado .....	49
4.3.7	Massa volúmica e absorção de água .....	52
4.3.8	Índice de forma. Achatamento .....	55
5	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....	57
5.1	Camadas de aterro e leito de pavimento .....	57
5.2	Base e sub-base granular .....	62
5.3	Análise estatística dos ensaios laboratoriais .....	68
6	CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS .....	75
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	79
	NORMAS, ESPECIFICAÇÕES E LEGISLAÇÃO UTILIZADA .....	81
	ANEXOS .....	83



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Produção de resíduos na UE a 28 países .....	6
Figura 2 – Perfil tipo de pavimento rodoviário. ....	15
Figura 3 – Constituição de pavimento flexível e sua degradação de tensões .....	17
Figura 4 – Constituição de pavimento rígido e sua degradação de tensões .....	18
Figura 5 – Instalações da Recivagos, Lda. ....	26
Figura 6 – Amostra 1 .....	27
Figura 7 – Amostra 2 .....	28
Figura 8 – Amostra 2-B.....	29
Figura 9 – Amostra 3 .....	30
Figura 10 – Amostra 3-B.....	31
Figura 11 – Amostra 4 .....	32
Figura 12 – Amostra 5 .....	33
Figura 13 – Equipamentos usados na peneiração. ....	36
Figura 14 – Amostra 2 fracionada após peneiração.....	37
Figura 15 – Curvas granulométricas das amostras estudadas. ....	38
Figura 16 – Ensaio de equivalente de areia .....	39
Figura 17 – Ensaio do valor de azul-de-metileno.....	40
Figura 18 – Ensaio da classificação de agregados grossos reciclados.....	44
Figura 19 – Representação gráfica da classificação dos constituintes das amostras. ....	46
Figura 20 – Frações da AM3-B para ensaio das superfícies esmagadas e partidas.....	47
Figura 21 – Provetes da amostra 1 para ensaio de compactação.....	50
Figura 22 – Compactador do ensaio Proctor. ....	50
Figura 23 – Pormenor de molde pequeno com amostra compactada. ....	51
Figura 24 – Método do cesto de rede metálica. ....	52
Figura 25 – Método do picnómetro. ....	53
Figura 26 – Relação entre percentagem de cerâmicos e partículas esmagadas.....	69
Figura 27 – Relação entre percentagem de betão e partículas esmagadas. ....	70
Figura 28 – Relação entre percentagem de pedra natural e partículas arredondadas. ....	71
Figura 29 – Relação entre percentagem de cerâmicos e índice de achatamento. ....	72
Figura 30 – Relação entre percentagem de pedra natural e índice de achatamento. ....	73

Figura 31 – Relação entre percentagem de passado (2 mm) e qualidade dos finos. .... 74

## ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 - Tipo de RCD e o seu peso global na UE .....	9
Quadro 2 – Códigos e descrição de RCD segundo a LER. ....	10
Quadro 3 – Composição de RCD e a sua percentagem no peso global .....	10
Quadro 4 – Aplicações dos principais constituintes de RCD .....	12
Quadro 5 – Funções das camadas de um pavimento rodoviário tipo .....	16
Quadro 6 – Tipos de pavimentos em função dos materiais e da deformabilidade .....	17
Quadro 7 – Propriedades e requisitos mínimos dos agregados reciclados (LNEC E474) ...	20
Quadro 8 – Definição da classe de agregados reciclados (LNEC E474) .....	21
Quadro 9 – Campo de aplicação dos agregados reciclados (LNEC E474) .....	21
Quadro 10 – Propriedades e requisitos mínimos dos agregados reciclados (LNEC E473) .	22
Quadro 11 – Definição da classe de agregados reciclados (LNEC E473) .....	23
Quadro 12 – Campo de aplicação dos agregados reciclados (LNEC E473) .....	23
Quadro 13 – Resumo da campanha de ensaios realizada .....	35
Quadro 14 – Percentagem de passado acumulado das amostras .....	37
Quadro 15 – Classificação de solos de acordo com equivalente de areia .....	40
Quadro 16 – Classificação de solos de acordo com azul-de-metileno .....	41
Quadro 17 – Resultados dos ensaios de equivalente de areia e azul-de-metileno .....	41
Quadro 18 – Resultados do azul-de-metileno extrapolados à totalidade da amostra .....	41
Quadro 19 – Constituintes não flutuantes de agregados reciclados grossos. ....	43
Quadro 20 – Resultados do ensaio de classificação de agregados grossos reciclados. ....	45
Quadro 21 – Percentagem de superfícies esmagadas e partidas das amostras .....	48
Quadro 22 – Resultados do ensaio de compactação Proctor .....	51
Quadro 23 – Resultados dos ensaios de massa volúmica e absorção de água .....	54
Quadro 24 – Índice de achatamento das amostras .....	55
Quadro 25 – Parâmetros geométricos e de natureza da especificação LNEC E 474 .....	58
Quadro 26 – Definição da classe de agregados reciclados (LNEC E474) .....	58
Quadro 27 – Classificação das amostras com a especificação LNEC E 474 .....	59
Quadro 28 – Categorização das amostras segundo a especificação LNEC E 474. ....	59
Quadro 29 – Campo de aplicação das amostras segundo a especificação LNEC E 474. ....	60
Quadro 30 – Requisitos de materiais granulares britados em leito de pavimento (CEEP) ..	61

Quadro 31 – Parâmetros geométricos e de natureza da especificação LNEC E 473 .....	62
Quadro 32 – Definição da classe de agregados reciclados (LNEC E 473) .....	63
Quadro 33 – Classificação das amostras com a especificação LNEC E 473 .....	63
Quadro 34 – Categorização das amostras segundo a especificação LNEC E 473.....	64
Quadro 35 – Campo de aplicação das amostras segundo a especificação LNEC E 473.....	65
Quadro 36 – Requisitos de ABGE para camadas de base e sub-base (CEEP) .....	66

## ACRÓNIMOS E SÍMBOLOS

ABGE	- Agregado Britado de Granulometria Extensa
APA	- Associação Portuguesa do Ambiente
ASTM	- <i>American Society for Testing and Materials</i>
CBR	- <i>California Bearing Ratio</i>
CEEP	- Caderno de Encargos das Estradas de Portugal,SA
$C_{tc}$	- Percentagem de partículas totalmente esmagadas ou partida (mais de 90% da superfície esmagada ou partida)
$C_c$	- Percentagem de partículas esmagadas ou partida (50% ou mais da superfície esmagada ou partida)
$C_r$	- Percentagem de partículas arredondada (50% ou menos da superfície esmagada ou partida)
$C_{tr}$	- Percentagem de partículas totalmente arredondada (mais de 90% da superfície arredondada)
EN	- <i>European Norm</i>
FI	- <i>Flakiness Index</i>
LA	- <i>Los Angeles</i>
LER	- Lista Europeia de Resíduos
LNEC	- Laboratório Nacional de Engenharia Civil
MB	- <i>Methylene Blue</i>
$M_{DE}$	- <i>micro-Deval</i>
NP	- Norma Portuguesa
$R_a$	- Proporção de materiais betuminosos
$R_b$	- Proporção de elementos de alvenaria de materiais argilosos (tijolos, ladrilhos e telhas), elementos de alvenaria de silicatos de cálcio e betão celular não flutuante
$R_C$	- Proporção de betão, produtos de betão e argamassas
RCD	- Resíduos de Construção e Demolição
$R_g$	- Proporção de vidro
$R_S$	- Proporção de solos
$R_U$	- Proporção de agregados não ligados, pedra natural e agregados tratados com ligantes hidráulicos
FL	- Material flutuante
SE	- <i>Sand Equivalent</i>

UE	- União Europeia
WA <sub>24</sub>	- Absorção de água após imersão de 24 horas
X	- Outros: plásticos, borrachas, metais (ferrosos e não ferrosos), madeira não flutuante e estuque
$\rho_a$	- Massa volúmica do material impermeável das partículas
$\rho_{rd}$	- Massa volúmica das partículas secas em estufa
$\rho_{ssd}$	- Massa volúmica das partículas saturadas com superfície seca

## **1 INTRODUÇÃO**

### **1.1 Enquadramento e relevância do tema**

O perfil estrutural dos pavimentos rodoviários é maioritariamente constituído por camadas não ligadas, construídas quase exclusivamente à base de agregados naturais, provenientes de pedreiras. O aumento da rede rodoviária, devido à expansão dos centros urbanos e necessidade de proporcionar acesso a áreas mais isoladas, tem sido uma realidade das últimas décadas. Surge assim a urgência de olhar para materiais que possam substituir o uso de agregados naturais que, uma vez retirados da natureza, alteram a paisagem e equilíbrio ambiental. Como a indústria da construção civil é, em geral, um sector com produções muito grandes de resíduos inertes, devido principalmente às demolições, tem sido fomentado o estudo sobre a aplicação de agregados reciclados, provenientes de resíduos de construção e demolição (RCD), nas camadas não ligadas dos pavimentos rodoviários. Com isto, tem vindo a verificar-se que a gestão destes resíduos é pouco variada devido à ainda pouca consciencialização ambiental por parte dos agentes intervenientes, e à falta de caracterização física, química e mecânica deste tipo de materiais, tornando assim inevitável que a viabilidade de utilização destes materiais em variados destinos seja praticamente desconhecida. Este trabalho pretende contribuir para que a aplicação deste tipo de resíduos em camadas não ligadas de pavimentos rodoviários seja favorecida em detrimento do uso de agregados naturais.

### 1.2 Objetivos e metodologia

O primeiro objetivo da presente dissertação foi avaliar a aplicabilidade de agregados inertes, provenientes da reciclagem de resíduos de construção e demolição (RCD), em camadas não ligadas de pavimentos rodoviários, analisando e confrontando os requisitos mínimos presentes nas seguintes especificações LNEC: “E 473 - Guia para a utilização de agregados reciclados em camadas não ligadas de pavimentos” e “E 474 - Guia para a utilização de materiais reciclados provenientes de resíduos de construção e demolição em aterro e camada de leito de infra-estruturas de transporte”, e fazendo uma comparação com os requisitos mínimos relativos a agregados naturais que constam em documentos de referência, como o Caderno de Encargo das Estradas de Portugal (CEEP).

A caracterização de agregados reciclados provenientes da zona de Aveiro surgiu como objetivo secundário, tendo sido realizado o maior número de ensaios possível, de modo a fazer uma caracterização laboratorial o mais completa possível e uma posterior análise estatística aos dados obtidos nos ensaios laboratoriais.

A metodologia adotada para alcançar os objetivos proposto baseou-se em dividir o trabalho a realizar em várias etapas, de maneira a que o trabalho tomasse uma forma sequencial, coerente e de exposição clara, na sua evolução temporal. Para isto, numa primeira fase, o trabalho efetuado baseou-se em pesquisa bibliográfica relacionada com o objeto de estudo, incidindo na temática dos resíduos de construção e demolição, através de consulta de legislação e normas aplicáveis, artigos científicos, dissertações, teses e sites eletrónicos. A segunda fase consistiu em estabelecer contactos com empresas na zona de Aveiro dedicadas à gestão e tratamento de resíduos de construção e demolição, com o propósito de proceder à recolha de várias amostras de RCD, para análise laboratorial e sua caracterização. Na terceira fase foram realizados vários ensaios de caracterização laboratorial às amostras recolhidas, seguindo as referências das normas LNEC extensíveis a RCD e à sua aplicabilidade em camadas não ligadas de pavimentos rodoviários, e ainda ensaios não referidos nas normas, mas que complementaram a caracterização laboratorial das amostras. Na quarta, e última fase, foi efetuado o tratamento dos dados recolhidos nos ensaios laboratoriais aos RCD, e a sua comparação com os requisitos exigíveis nas especificações LNEC aplicáveis.



### **1.3 Estrutura do trabalho**

Esta dissertação apresenta-se estruturada em 6 capítulos principais. No Capítulo 1 foi introduzido o tema do trabalho, apresentando o seu enquadramento e relevância, descreveu-se o objetivo e a metodologia aplicada para o cumprimento do mesmo, e expôs-se a organização da dissertação. No Capítulo 2, foram efetuadas considerações gerais sobre o enquadramento europeu dos resíduos, particularizando depois para os resíduos de construção e demolição, expondo dados sobre a sua produção, tipologia, gestão e legislação. No Capítulo 3, desenvolveu-se a aplicabilidade concreta dos agregados reciclados provenientes da gestão e tratamento de RCD nas camadas não ligadas de pavimentos rodoviários, através da análise da constituição comum dos pavimentos e das características exigíveis às suas camadas não ligadas. No Capítulo 4, foi realizado o trabalho experimental de caracterização das amostras recolhidas, efetuando uma descrição visual de cada amostra, bem como uma campanha de ensaios laboratoriais. No Capítulo 5, procedeu-se à discussão dos resultados obtidos na caracterização laboratorial. No Capítulo 6 ficaram concretizadas as conclusões do estudo realizado nesta dissertação e também sugestões de trabalhos futuros.

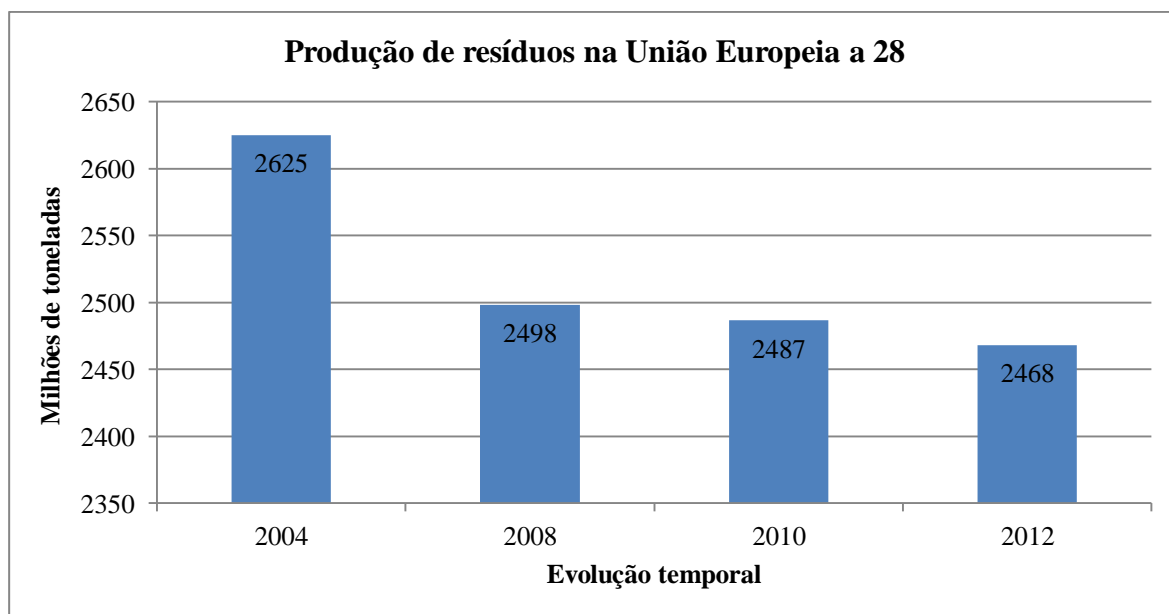


## 2 RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO

### 2.1 Resíduos. Considerações gerais

Resíduos, por definição da Diretiva n.º 2008/98/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de novembro de 2008, são “*quaisquer substâncias ou objetos de que o detentor se desfaz ou tem a intenção ou a obrigação de se desfazer*” (Parlamento Europeu, 2008). Resíduos são então produtos de natureza ou fonte humana que atingiram o fim do seu ciclo de vida, quer por perda de funcionalidade, quer por vontade humana, sendo os materiais originais substituídos por novos e melhores materiais, ou até mesmo por materiais semelhantes.

Todos os anos, na União Europeia (EU) a 28 países, são produzidas cerca 2,5 bilhões de toneladas de resíduos, como se pode constatar através do gráfico da Figura 1 (Eurostat, 2014a). No ano de 2012, a instituição Eurostat estima que cerca de 100 milhões de toneladas destes resíduos tenham sido potencialmente perigosas para a saúde humana (Eurostat, 2014b). Da produção total de resíduos em 2011, apenas 40% foi aproveitada para reciclagem, tendo sido os restantes 60% tratados pelas duas operações de tratamento de resíduos, a incineração (23%) e depósito em aterro em solos naturais (37%) (European Commission, 2014b). Estas duas operações são geralmente prejudiciais à saúde pública e ao ambiente devido à sua geral toxicidade a longo prazo. O despejo de resíduos em solos naturais tem como consequências a ocupação de terras possivelmente férteis, e por isso valiosas, e a poluição de águas superficiais e subterrâneas com o despejo de químicos e pesticidas (European Commission, 2014d). Por seu turno, a incineração contribuiu para a poluição atmosférica através da libertação de gases nocivos e metais pesados, que acabam também por poluir solos e águas subterrâneas (European Commission, 2014c).



Nota: O Eurostat não possui dados de 2006 e os dados de 2012 são uma estimativa.

Figura 1 – Produção de resíduos na UE a 28 países (Eurostat, 2014a).

É por demais evidente a necessidade de se seguir um quadro legal e técnico no sentido de minorar os impactos ambientais de tantas toneladas de resíduos produzidos. Foi para isso criada a norma europeia Diretiva n.º 2008/98/CE que estabelece “*medidas de proteção do ambiente e da saúde humana, prevenindo ou reduzindo os impactos adversos decorrentes da geração e gestão de resíduos, diminuindo os impactos gerais da utilização dos recursos e melhorando a eficiência dessa utilização.*”. Para atingir estes objetivos, foi definida uma hierarquia de soluções aplicáveis aos resíduos, de modo a obter uma política sustentável de prevenção e gestão dos mesmos. Esta hierarquia é definida da seguinte forma (Parlamento Europeu, 2008):

- a) Prevenção e redução, sendo prevenção “*as medidas tomadas antes de uma substância, material ou produto ser transformado em resíduo*”;
- b) Preparação para a reutilização, compreende todas as “*operações de valorização que consistem no controlo, limpeza ou reparação, mediante as quais os produtos ou componentes de produtos que se tenham tornado resíduos são preparados para serem reutilizados, sem qualquer outro tipo de pré-processamento*”;

- c) Reciclagem, é *“qualquer operação de valorização através da qual os materiais constituintes dos resíduos são novamente transformados em produtos, materiais ou substâncias para o seu fim original ou para outros fins. Incluiu o reprocessamento de materiais orgânicos, mas não incluiu a valorização energética nem o reprocessamento em materiais que devam ser utilizados como combustível ou em operações de enchimento”*.
- d) Outros tipos de valorização, sendo a valorização definida como *“qualquer operação cujo resultado principal seja a transformação dos resíduos de modo a servirem um fim útil, substituindo outros materiais que, caso contrário, teriam sido utilizados para um fim específico, ou a preparação dos resíduos para esse fim, na instalação ou no conjunto da economia”*;
- e) Eliminação, sendo *“qualquer operação que não seja de valorização, mesmo que tenha como consequência secundária a recuperação de substâncias ou de energia.”*

O cumprimento legal desta hierarquia de soluções deverá reduzir a produção de resíduos, e tratar da forma mais económica e mais ambiental os resíduos existentes e/ou futuros, de modo a poder ser decretado o fim do estatuto de resíduo, que acontece quando *“a substância ou objeto for habitualmente utilizado para fins específicos; existir um mercado ou uma procura para essa substância ou objeto; a substância ou objeto satisfizer os requisitos técnicos para os fins específicos e respeitar a legislação e as normas aplicáveis aos produtos, e a utilização da substância ou objeto não acarretar impactos globalmente adversos do ponto de vista ambiental ou da saúde humana.”* (Parlamento Europeu, 2008).

A necessidade de reaproveitar/reciclar ao máximo os resíduos produzidos, com o objetivo de se tornarem de novo úteis, é indiscutível, com óbvias vantagens económicas e ambientais. Para isto, a UE elaborou em 2014 uma proposta de revisão à Diretiva n.º 2008/98/CE, na qual estabelece alguns objetivos mais ambiciosos no que respeita à reciclagem e reutilização de resíduos (European Commission, 2014b), nomeadamente:

- Reciclagem e reutilização de, pelo menos, 70% dos resíduos urbanos até 2030;
- Reciclagem e reutilização de, pelo menos, 80% de resíduos de embalagens, sendo as metas aumentadas gradualmente entre 2020 e 2030 para cada tipo de material das embalagens (90% para papel em 2025 e 60% para plásticos, 80% para madeira, 90% metais ferrosos, alumínio e vidro no fim de 2030);
- Eliminação progressiva da deposição em aterro em 2025 para resíduos recicláveis não perigosos (incluindo plásticos, papel, metais, vidro e bio resíduos), até uma taxa máxima de 25%.

Com estas propostas, é esperado que se desenvolva no futuro uma maior eficiência no aproveitamento de recursos recicláveis, estimulando a valorização dos mesmos, com todos os benefícios sociais e económicos inerentes, como a criação de emprego e melhoria da saúde pública.

## 2.2 Resíduos na Construção Civil

O sector da construção civil é responsável por cerca de 25% a 30% da produção total de resíduos na UE (European Commission, 2014a). Por esta razão, os países membros da EU acordaram, através da Diretiva 2008/98/EC, realizar todas as medidas necessárias até 2020 para que, pelo menos, 70% dos resíduos de construção e demolição (RCD) fossem preparados para serem reciclados e reutilizados (Parlamento Europeu, 2008).

É possível dividir os RCD em 3 grandes grupos, dado a sua origem: resíduos de construção; resíduos de remodelação, renovação e reabilitação, e resíduos de demolição. Os resíduos de construção devem-se essencialmente por erro de cálculo de quantidades de material, por excesso, a ser usado nas obras de construção então ou são produto de materiais danificados durante as obras. Os resíduos de remodelação, renovação e reabilitação são mais variados que os de construção, e aproximam-se mais dos resíduos de demolição na sua génese e composição. Os resíduos de demolição estão dependentes do tipo de intervenção ao nível de técnica de demolição e da obra alvo dessa mesma intervenção (Almiro, 2012). O Quadro 1 mostra o peso global entre os tipos de RCD na UE (Fernandes, Capitão, & Picado-Santos, 2008).

Quadro 1 - Tipo de RCD e o seu peso global na UE (Fernandes et al. 2008).

Tipo	Percentagem (%)
Resíduos de construção	10 a 20
Resíduos de remodelação, renovação e reabilitação	30 a 40
Resíduos de demolição	40 a 50

Em Portugal, o conceito RCD é definido pelo Decreto-Lei n.º 73/2011 de 17 de Junho, art.º 3 alínea gg), e é dado por “todo o resíduo proveniente de obras de construção, reconstrução, ampliação, alteração, conservação, demolição e derrocada de edificações.”.

Os materiais constituintes de RCD são definidos na Lista Europeia de Resíduos (LER) que consta na portaria n.º 209/2004 de 3 de Março, que por sua vez transpõe o Catálogo Euro-

peu de Resíduos. O Quadro 2 mostra quais são os constituintes de RCD definidos legalmente pela portaria n.º 209/2004 de 3 de Março.

Quadro 2 – Códigos e descrição de RCD segundo a LER.

Código		Descrição
17	01	Betão, tijolos, ladrilhos, telhas e materiais cerâmicos
17	02	Madeira, vidro e plástico
17	03	Misturas betuminosas, alcatrão e produtos de alcatrão
17	04	Metais (incluindo ligas)
17	05	Solos (incluindo solos escavados de locais contaminados), rochas e lamas de dragagem
17	06	Materiais de isolamento e materiais de construção, contendo amianto
17	08	Materiais de construção à base de gesso
17	09	Outros resíduos de construção e demolição

Tipicamente, os RCD apresentam uma grande quantidade de materiais inertes, como betão, alvenaria, cerâmicos, pedra, vidro, etc., devido ao fato de serem provenientes, na maior parte dos casos, de operações de demolição de edificações. É de notar que os materiais orgânicos como madeira, papel, cartão, etc. são os mais raros na composição de RCD. No Quadro 3, é exposta a composição típica de RCD, segundo os seus diferentes pesos relativos.

Quadro 3 – Composição de RCD e a sua percentagem no peso global (Brito 2006).

Materiais	% do peso total
Betão, alvenaria e argamassa	50
Madeira	5
Papel, cartão e outros combustíveis	1 - 2
Plásticos	1 - 2
Metais (aço incluído)	5
Solos de escavação, brita de restauração de pavimentos	20 - 25
Asfalto	5 - 10
Lamas de dragagem e perfuração	5 - 10



### 2.3 Reciclagem de RCD

A taxa de reciclagem de RCD é bastante díspar entre vários países da Europa, existindo alguns países com taxas abaixo dos 15% (Portugal, Grécia e Espanha), e outros com taxas acima de 90%, no caso da Dinamarca, Alemanha e Holanda (Costa, 2014).

Apesar da legislação existente e da meta de 70% até 2020 estabelecida pela EU, em Portugal a taxa de reciclagem de RCD é extremamente baixa, chegando mesmo aos 9%, sendo os restantes 91% de RCD divididos da seguinte forma: 4% são incinerados, 11% são reaqueitados e 76% são colocados em aterros (Barbosa, Almiro, & Benta, 2013). Existem alguns fatores que despromovem a reciclagem de RCD, como o desconhecimento generalizado por parte de empresas, nomeadamente de construção, do potencial dos RCD como materiais recicláveis e reutilizáveis, maior rentabilidade financeira em depositar os RCD em aterros face à reciclagem dos mesmos e a falta de infraestruturas físicas de recolha e reciclagem de RCD (Mália, 2010).

O destino dos RCD reciclados, em alternativa ao aterro ou à incineração, pode ser bastante variado, tendo em conta a sua composição. Apesar dos RCD serem resíduos heterogéneos, a sua reciclagem faz-se essencialmente ao nível dos seus inertes, através da triagem, trituração e crivagem em centrais próprias para esse efeito, com o objetivo de produzir agregados que, posteriormente, podem ser usados em obras de engenharia civil (Almiro, 2012), embora os restantes constituintes sejam passíveis também de ser reciclados e reutilizados, como mostra o Quadro 4 (Brito, 2006).

Quadro 4 – Aplicações dos principais constituintes de RCD (Brito 2006).

Materiais	Aplicação
Betão triturado resultante de demolições	Material de aterro, base de enchimento para valas de tubagens e pisos térreos de edifícios.
Betão triturado e crivado com poucas ou nenhuma impurezas	Sub-base na construção de estradas, agregado reciclado para o fabrico de betão e base de enchimentos para sistemas de drenagem.
Betão triturado e crivado, limpo de impurezas e com menos de 5% de tijolo	Construção de estradas, produção de betão, material de aterro estrutural e base de enchimento para valas de tubagens.
Alvenaria de pedra	Reutilização direta, conservação e restauro.
Tijolos	Agregados para betão (incluindo peças pré fabricadas), agregados para tijolos de silicato de cálcio, material de enchimento para estradas, material de enchimento de valas e tubagens, material de enchimento e estabilização de caminhos rurais, revestimento de campos de ténis.
Tijolos e blocos inteiros	Reutilização.
Alvenarias britadas	Aplicações idênticas às dos resíduos de betão com diferenças nos agregados para betão, agregados para betão asfáltico (betume) e nas sub-bases de estradas.
Pavimentos asfálticos	Construção e manutenção de estradas como pavimento asfáltico ou agregados para bases e sub-bases, agregados para bermas e camadas drenantes e em pavimentos estabilizados.
Pavimentos de betão	Construção e reabilitação de estradas como agregados para betão, agregados em pavimentos asfálticos, material para bases de talude e agregados não ligados para bases de estradas.
Madeira	Mobiliário, soalhos, portas, reparação de edifícios rurais, camas para animais (aparas e serradura), enchimento para correção de taludes, incineração, pirólise, compostagem, produção de combustível derivado dos refugos (CDR).
Solos	Terra arável, aterro de estradas, integração paisagística, acerto topográfico.
Metais	Reutilização direta (aço e ferro), sucata e fabrico de novos elementos (alumínio).

Pelo Quadro 4, constata-se que a construção de estradas (ou a sua reabilitação) podem ser grandes consumidores de agregados reciclados provenientes de RCD, valorizando e potencializando a reciclagem dos mesmos, quer nas camadas ligadas, quer nas camadas não ligadas. As camadas não ligadas dos pavimentos rodoviários (aterro, leito de pavimento, base e sub-base) absorvem grande parte dos agregados reciclados destinados a pavimentos rodoviários.

## 2.4 Enquadramento legal e normativo

Segundo o site da Associação Portuguesa do Ambiente (APA, 2013), e segundo os CADERNOS de Encargos Tipo das Estradas de Portugal (CEEP) (Estradas de Portugal, 2012), a legislação em vigor em Portugal e o quadro normativo referentes a resíduos de construção e demolição são os seguintes:

- *Decreto-Lei n.º 46/2008, de 12 de Março.* Estabelece o regime das operações de gestão de RCD. Alterado por Decreto-Lei n.º 73/2011, de 17 de Junho, que também altera o regime geral de gestão de resíduos.
- *Decreto-Lei n.º 73/2011, de 17 de Junho.* Procede à terceira alteração ao Decreto-Lei n.º 178/2006, de 5 de Setembro e altera outros diplomas, nomeadamente o Decreto-Lei n.º 46/2008, de 12 de Março.
- *Portaria n.º 209/2004, de 3 de Março.* Define a lista de resíduos.
- *Portaria n.º 417/2008, de 11 de Junho.* Define as guias específicas de acompanhamento do transporte de RCD.
  
- E 471 – 2009 “Especificação LNEC: Guia para a utilização de agregados reciclados grossos em betões de ligantes hidráulicos”. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 2009.
- E 472 – 2009 “Especificação LNEC: Guia para a reciclagem de misturas betuminosas em central”. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 2009.
- E 473 – 2009 “Especificação LNEC: Guia para a utilização de agregados reciclados em camadas não ligadas de pavimentos”. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 2009.
- E 474 – 2009 “Especificação LNEC: Guia para a utilização de materiais reciclados provenientes de resíduos de construção e demolição em aterro e camada de leito de infra-estruturas de transportes”. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 2009.

### 3 APLICABILIDADE DE RCD EM CAMADAS NÃO LIGADAS DE PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS

#### 3.1 Pavimentos rodoviários. Considerações gerais

Os pavimentos rodoviários são, por definição, “(...) estruturas laminares estratificadas que se apoiam continuamente sobre um solo de fundação” (Pinto, 2003), em que a sua função primária é “(...) assegurar uma superfície de rolamento que permita a circulação dos veículos com comodidade e segurança, durante um determinado período de tempo (a vida do pavimento), sob a ação das ações do tráfego, e nas condições climáticas que ocorram” (Branco et al., 2008). A Figura 2 esquematiza a constituição tipo de um pavimento rodoviário flexível, distinguindo as camadas ligadas ou betuminosas (desgaste, regularização e base betuminosa ou granular) e as camadas granulares (base e sub-base granular).

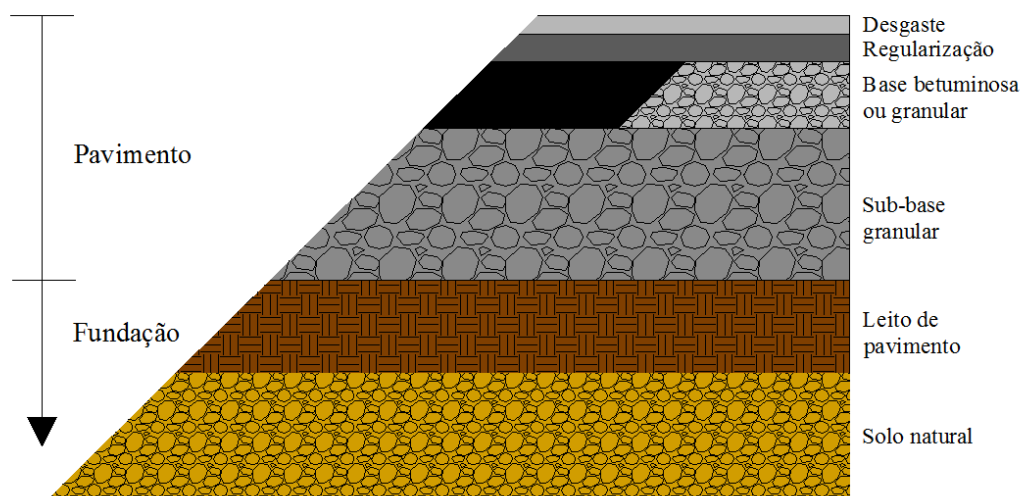


Figura 2 – Perfil tipo de pavimento rodoviário flexível.

As qualidades funcionais e estruturais das diversas camadas são aspetos fundamentais no dimensionamento dos pavimentos rodoviários. A capacidade estrutural do pavimento em suportar as cargas dos veículos é essencial para que não se verifiquem patologias que possam pôr em causa a funcionalidade exigível pelos utentes da via (como o conforto e a segurança de circulação). Estas duas qualidades podem ser afetadas por diversas ações solici- tantes ao pavimento, como as tensões induzidas pelo tráfego, as variações de temperatura e

a presença de água, sendo cada uma das diferentes camadas dimensionada para que esteja assegurada a sua função (Branco et al., 2008). O Quadro 5 resume as funções de cada camada de um pavimento rodoviário.

Quadro 5 – Funções das camadas de um pavimento rodoviário tipo (adaptado de Francisco 2012).

Camadas do pavimento		Função
Camadas betuminosas	Desgaste	Adequada circulação do tráfego com conforto e segurança; Drenagem ou impermeabilização; Distribuição das tensões induzidas pelo tráfego.
	Regularização	Camada estrutural; Regularizar a superfície da camada de base.
	Base betuminosa	Camada estrutural.
Camadas granulares	Base granular	Camada estrutural; Degradação das cargas induzidas pelo tráfego.
	Sub-base granular	Proteger as camadas inferiores durante a fase construtiva; Proteger a camada de base da capilaridade de água subjacente; Drenagem interna do pavimento; Camada estrutural; Resistência à erosão.
Fundação do pavimento	Leito do pavimento	Evitar deformações do solo; Homogeneidade da fundação; Plataforma construtiva; Possibilidade de compactação das camadas sobrejacentes em adequadas condições.
	Parte superior do aterro (PSA)	Suporte do pavimento (são as suas características que condicionam o dimensionamento do pavimento).

As camadas granulares são constituídas por materiais inertes, sejam britados ou naturais, são estabilizadas mecanicamente por compactação e a sua resistência deve-se principalmente pelo seu atrito interno, suportando bem os esforços de compressão e corte. No caso das camadas ligadas, os materiais granulares que as compõem são aglutinados com ligante, podendo este ser hidrocarbonado (em geral, betume asfáltico) ou hidráulico (por exemplo,

cimento Portland). Estes ligantes fornecem capacidade coesiva aos materiais granulares, podendo assim suportar os esforços de compressão, corte e tração (Branco et al., 2008).

Com isto, é possível classificar um pavimento rodoviário como flexível, semi-rígido ou rígido, consoante o tipo de materiais utilizados e o respetivo funcionamento estrutural, como se pode ver no Quadro 6.

Quadro 6 – Tipos de pavimentos em função dos materiais e da deformabilidade (Branco et al., 2008).

Tipo de pavimento	Materiais (ligante)	Deformabilidade
Flexível	Hidrocarbonados e granulares	Elevada
Semi-rígido	Hidrocarbonados, hidráulicos e granulares	Reduzida
Rígido	Hidráulicos e granulares	Muito reduzida

A preferência por cada um destes tipos de pavimentos depende de vários fatores, onde, os económicos e os tecnológicos são os mais relevantes.

Os pavimentos flexíveis são constituídos por misturas betuminosas nas camadas superiores, que proporcionam deformabilidades elevadas ao pavimento, de modo a distribuírem as tensões causadas pelo tráfego nas camadas subjacentes, transformando-as em tensões de compressão suportadas pelos materiais granulares nas camadas inferiores, como ilustra a Figura 3.



Figura 3 – Constituição de pavimento flexível e sua degradação de tensões (Maia, 2012).

No caso dos pavimentos rígidos as camadas superiores são constituídas por uma laje de betão hidráulico com grande resistência à flexão (Pinto, 2003), e por materiais granulares estabilizados, ou não, com ligantes hidráulicos. As camadas inferiores são geralmente apenas granulares (Branco et al., 2008). Este tipo de pavimentos é caracterizado por deformabilidades baixas devido ao efeito de laje da camada superior, e tensões baixas, dado que as cargas aplicadas são distribuídas por uma área elevada. A Figura 4 ilustra a constituição de um pavimento rígido e a sua distribuição de tensões.



Figura 4 – Constituição de pavimento rígido e sua distribuição de tensões (Maia, 2012)

Os pavimentos semi-rígidos têm características comuns aos flexíveis e rígidos, tendo camadas betuminosas na parte superior, e uma ou mais camadas estabilizadas com ligantes hidráulicos na parte inferior do pavimento, podendo ter ainda uma camada granular na sub-base (Branco et al., 2008).



### 3.2 Agregados reciclados nas camadas não ligadas

O Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) estabeleceu, em 2009, um conjunto de 4 especificações LNEC que determinam as condições de aplicação de materiais derivados de resíduos de construção e demolição em obras de engenharia civil, de acordo com parâmetros geométricos e de natureza, comportamento mecânico e químicos. As 4 especificações são:

- LNEC E 471-2009: “Guia para a utilização de agregados reciclados grossos em betões de ligantes hidráulicos”.
- LNEC E 472-2009: “Guia para a reciclagem de misturas betuminosas a quente em central”.
- LNEC E 473-2009: “Guia para a utilização de agregados reciclados em camadas não ligadas de pavimentos”.
- LNEC E 474-2009 “Guia para a utilização de materiais reciclados provenientes de resíduos de construção e demolição em aterro e camada de leito de infra-estruturas de transportes”.

Tendo em conta que o objetivo primário da presente dissertação foi avaliar a aplicabilidade de RCD em camadas não ligadas, apenas foram consideradas as especificações “E 473” e “E 474”, admitindo que a camada de aterro e leito de pavimento são também camadas não ligadas, à semelhança das camadas de base e sub-base granulares.

Para a aplicação das especificações, foi necessário efetuar uma campanha de ensaios laboratoriais de modo a obter dados sobre diferentes propriedades (granulometria, teor de finos e qualidade dos mesmos, etc.) das amostras. De seguida, os dados foram comparados diretamente com valores limite que constavam nas especificações LNEC, ou categorizados de acordo com normas de ensaio exigíveis nas especificações, de modo a poderem ser comparados com os requisitos mínimos das mesmas. Através desta comparação, as amostras puderam ser agrupadas em classes e categorias de modo a limitar o seu campo de aplicação.

### 3.2.1 Camadas de aterro e leito de pavimento

No que se refere às camadas de aterro e leito de pavimento, a especificação “LNEC E 474-2009” estabelece as propriedades e requisitos mínimos de materiais reciclados para aplicação em aterro e leito de pavimento. Esta especificação divide os materiais em duas categorias, “MAT1” e “MAT2”, e nas classes “B”, “MB” e “C” de acordo os requisitos apresentados no Quadro 7.

Quadro 7 – Propriedades e requisitos mínimos dos agregados reciclados (LNEC E474).

Requisitos de conformidade			Categoria		
			MAT1	MAT2	
Parâmetros	Propriedade	Norma de ensaio	B, MB e C	B e C	MB
Geométricos e de natureza	Dimensão máxima das partículas ( $D_{\text{máx}}$ )	-	$D_{\text{máx}} \leq 150$ mm	$D_{\text{máx}} \leq 80$ mm	
	Conteúdo máximo em finos (passado no peneiro 80 $\mu\text{m}$ )	LNEC E 196	10%	10%	
	Qualidade dos finos	EN 933-9	$MB_{0/D} < 2$	$MB_{0/D} < 1$	
Comportamento mecânico	Resistência à fragmentação Resistência ao desgaste	EN 1097-2+A1 EN 1097-1+A1	-	$LA \leq 45$ $M_{DE} \leq 45$	-
Químicos	Teor de sulfatos solúveis em água	EN 1744-1	0,7%	0,7%	
	Libertação de substâncias perigosas	EN 12457-4	Classificação como resíduos para deposição e aterro para resíduos inertes		

\* -  $MB_{0/D}$  Valor do azul-de-metileno expresso em g/kg segundo a norma de ensaio (NP EN 933-9) multiplicado pela percentagem da fração passada no peneiro de 2 mm.

\*\* - Para teores de sulfatos superiores a 0.2%, estes agregados deverão ser colocados a uma distância não inferior a 0.50 m de elementos estruturais de betão.

\*\*\* - A classificação baseia-se apenas nos resultados do ensaio de lixiviação para  $L/S = 10$  l/kg – Secção 2.1.2.1 da Decisão do Conselho 2003/33/CE.

A associação dos diferentes materiais às classes “B”, “MB” e “C” é efetuada de acordo com a proporção dos materiais constituintes, obtida através do ensaio da norma NP EN 933-11:2011 – “Ensaio das propriedades geométricas dos agregados. Parte 11: Ensaio para classificação dos constituintes de agregados grossos reciclados”. O Quadro 8 contém

os valores limite das proporções dos constituintes de agregados reciclados, definindo com isto a sua classe.

Quadro 8 – Definição da classe de agregados reciclados (LNEC E474).

Classe	Proporção dos constituintes					
	$R_C + R_U + R_g$ (%)	$R_g$ (%)	$R_a$ (%)	$R_b + R_s$ (%)	FL (cm <sup>3</sup> /kg)	X (%)
B	$\geq 90$	$\leq 10$	$\leq 5$	$\leq 10$	$\leq 5$	$\leq 1$
MB	$\leq 70$	$\leq 25$	$\geq 30$	$\leq 70$	$\leq 5$	$\leq 1$
C	Sem limite	$\leq 25$	$\leq 30$	Sem limite	$\leq 5$	$\leq 1$

$R_C$  – betão, produtos de betão e argamassas;

$R_U$  – agregados não ligados, pedra natural e agregados tratados com ligantes hidráulicos;

$R_S$  – solos;

$R_a$  – materiais betuminosos;

$R_b$  – elementos de alvenaria de materiais argilosos (tijolos, ladrilhos e telhas), elementos de alvenaria de silicatos de cálcio e betão celular não flutuante;

$R_g$  – vidro;

FL – material flutuante;

X – outros: plásticos, borrachas, metais (ferrosos e não ferrosos), madeira não flutuante e estuque.

Por fim, com a categoria e classe definidas, é possível determinar o seu campo de aplicação, ou seja, se as amostras podem ser aplicadas nas camadas de leito de pavimento e/ou aterro, de acordo com o definido no Quadro 9.

Quadro 9 – Campo de aplicação dos agregados reciclados (LNEC E474).

Categoria	MAT1			MAT2		
Classe	B	MB	C	B	MB	C
Camada de leito	X	X	X	✓	X	✓
Aterro	✓	✓	✓	✓	✓	✓

## 3.2.2 Base e sub-base granular

A especificação “LNEC E473-2009” designa os requisitos e recomendações para a utilização de agregados reciclados em camadas não ligadas, como sendo a base e sub-base de pavimentos rodoviários. Esta especificação divide os materiais em 3 categorias, “AGER1”, “AGER2” e “AGER3”, e nas classes “B” e “C”, de acordo os requisitos apresentados no Quadro 10.

Quadro 10 – Propriedades e requisitos mínimos dos agregados reciclados (LNEC E473).

Requisitos de conformidade			Agregados reciclados		
Parâmetros	Propriedade	Norma de ensaio	AGER1 B ou C	AGER2 B ou C	AGER3 B
Geométricos e de natureza	Dimensão	EN 13285	0/31,5	0/31,5	0/31,5
	Sobretamanhos (EN 933-1+A1)	EN 13285	OC <sub>75</sub>	OC <sub>80</sub>	OC <sub>85</sub>
	Classe de granulometria (EN 933-1+A1)	EN 13285	G <sub>B</sub>	G <sub>B</sub>	G <sub>A</sub>
	Teor de finos (EN 933-1+A1)	EN 13285	UF <sub>9</sub> LF <sub>2</sub>	UF <sub>9</sub> LF <sub>2</sub>	UF <sub>9</sub> LF <sub>2</sub>
	Qualidade dos finos (EN 933-9)*	EN 13242 + A1	MB <sub>0/D</sub> < 1	MB <sub>0/D</sub> < 0,8	MB <sub>0/D</sub> < 0,8
	Percentagem de partículas totalmente esmagadas ou partidas e totalmente roladas em agregados grossos (EN 933-5)	EN 13242 + A1	C <sub>50/30</sub>	C <sub>50/10</sub>	C <sub>90/3</sub>
Comportamento mecânico	Resistência à fragmentação e resistência ao desgaste (EN 1097-2 e EN 1097-1)	EN 13242 + A1	LA <sub>45</sub> e M <sub>DE45</sub> ou LA+M <sub>DE</sub> ≤ 85	LA <sub>40</sub> e M <sub>DE40</sub> ou LA+M <sub>DE</sub> ≤ 75	LA <sub>40</sub> e M <sub>DE35</sub> ou LA+M <sub>DE</sub> ≤ 70
Químicos	Teor de sulfatos solúveis em água (EN 1744-1)**	EN 13242 + A1	SS <sub>0,7</sub>	SS <sub>0,7</sub>	SS <sub>0,7</sub>
	Libertação de substâncias perigosas (EN 12457-4)	-	Classificação como resíduos para deposição e aterro para resíduos inertes***		

\* - MB<sub>0/D</sub> Valor do azul-de-metileno expresso em g/kg segundo a norma de ensaio (NP EN 933-9) multiplicado pela percentagem da fração passada no peneiro de 2 mm.

\*\* - Para teores de sulfatos superiores a 0,2%, estes agregados deverão ser colocados a uma distância não inferior a 0,50 m de elementos estruturais de betão.

\*\*\* - A classificação baseia-se apenas nos resultados do ensaio de lixiviação para L/S = 10 l/kg – Secção 2.1.2.1 da Decisão do Conselho 2003/33/CE.

A associação dos diferentes materiais às classes “B” e “C” é efetuada de acordo com a proporção dos materiais constituintes, obtida através do ensaio da norma NP EN 933-11:2011 – “Ensaio das propriedades geométricas dos agregados. Parte 11: Ensaio para classificação dos constituintes de agregados grossos reciclados” (ver subcapítulo 4.3.4). O Quadro 11 contém os valores limite das proporções dos constituintes de agregados reciclados, definindo com isto a sua classe.

Quadro 11 – Definição da classe de agregados reciclados (LNEC E473).

Classe	Proporção dos constituintes					
	$R_C + R_U + R_g$ (%)	$R_g$ (%)	$R_b$ (%)	$R_a$ (%)	FL (cm <sup>3</sup> /kg)	X (%)
B	$\geq 90$	$\leq 5$	$\leq 10$	$\leq 5$	$\leq 5$	$\leq 1$
C	$\geq 50$	$\leq 5$	$\leq 10$	$\leq 30$	$\leq 5$	$\leq 1$

$R_C$  – betão, produtos de betão e argamassas;

$R_U$  – agregados não ligados, pedra natural e agregados tratados com ligantes hidráulicos;

$R_g$  – vidro;

$R_b$  – elementos de alvenaria de materiais argilosos (tijolos, ladrilhos e telhas), elementos de alvenaria de silicatos de cálcio e betão celular não flutuante;

$R_a$  – materiais betuminosos;

FL – material flutuante;

X – outros: plásticos, borrachas, metais (ferrosos e não ferrosos), madeira não flutuante e estuque.

Definidas a categoria e a classe do agregado reciclado, é estabelecido o seu campo de aplicação, ou seja, se as amostras podem ser usadas nas camadas de sub-base ou base, tendo em conta o tráfego médio de pesados por via previsto, como definido no Quadro 12.

Quadro 12 – Campo de aplicação dos agregados reciclados (LNEC E473).

Categoria	AGER1		AGER2		AGER3
Classe	C	B	C	B	B
Aplicação em camadas de sub-base – TMDp	$\leq 50$	$\leq 150$	$\leq 150$	$\leq 300$	$\leq 300$
Aplicação em camadas de base – TMDp	NR	$\leq 150$	$\leq 150$	$\leq 150$	$\leq 300$

TMDp – Tráfego médio diário de pesados por via.

NR – Não recomendado.



## **4 TRABALHO EXPERIMENTAL DE CARACTERIZAÇÃO**

### **4.1 Pontos de recolha das amostras de RCD**

A totalidade das amostras de RCD recolhidas para caracterização laboratorial do presente trabalho teve como proveniência a zona Sul do distrito de Aveiro, dada a proximidade entre a Universidade de Aveiro e as empresas escolhidas para fornecimento das amostras. A decisão de não se variar o local da recolha das amostras foi tomada devido ao interesse em caracterizar os agregados reciclados, que derivam da gestão e tratamento de RCD, de uma área pouco alargada. Desta forma, o estudo em questão foi o mais representativo possível da tipologia de RCD produzidos nessa mesma área.

No decorrer deste trabalho, foram recolhidas, no total, sete amostras de RCD, sendo uma de origem betuminosa.

A amostra de RCD de origem betuminosa foi recolhida a 12 de março de 2014 na empresa “Rosas Construtores”, construtora do concelho de Águeda. Nesta empresa apenas é realizado o tratamento de RCD de origem betuminosa, impondo que a recolha de amostras com origem não betuminosa fosse efetuada noutra unidade de gestão e tratamento de RCD. Devido à pouca variabilidade na granulometria das amostras na empresa em questão, foi tomada a opção de realizar a caracterização laboratorial de apenas uma amostra, focando assim o estudo em amostras de RCD de origem não betuminosa. A citada amostra foi rotulada como “Amostra 1”.

As restantes amostras foram recolhidas no depósito da empresa “Recivagos, Lda”, dedicada ao armazenamento, triagem e comercialização de RCD, com sede e depósito no concelho de Vagos. As amostras recolhidas nesta empresa a 21 de março de 2014 foram etiquetadas como “Amostra 2”, “Amostra 3” e “Amostra 4”.

Com o avançar da campanha de ensaios laboratoriais nestas amostras, que inutiliza uma grande quantidade de material após a realização dos mesmos, ficou evidente a necessidade de efetuar uma segunda recolha de material correspondente às amostras 2 e 3, com as mesmas características granulométricas que as ditas amostras, na expectativa de colmatar a

falta de material provocada pelo grande consumo de material durante a realização dos ensaios, amostragem realizada a 29 de abril de 2014. Após a observação das curvas granulométricas das amostras da segunda recolha, e por diferirem muito das curvas granulométricas das amostras iniciais, foi decidido tratar o material da segunda recolha como amostras novas, tendo sido rotuladas de “Amostra 2-B” e “Amostra 3-B”. Além disto, foi recolhida uma amostra de um material com uma granulometria que não estava disponível aquando a primeira recolha, tendo sido etiquetada como “Amostra 5”. A Figura 5 ilustra as instalações da “Recivagos Lda”.



a) Pormenor de britadeira



b) – Perspetiva geral

Figura 5 – Instalações da Recivagos, Lda: a) Pormenor da britadeira; b) Perspetiva geral



## 4.2 Descrição visual das amostras

### 4.2.1 Amostra 1

A amostra 1, como já referido no subcapítulo 4.1, é de origem betuminosa. Esta amostra não apresentava quaisquer resíduos de outra natureza (por exemplo, betão, cerâmico, vidros, etc.) e as suas partículas estavam bem envoltas em betume. Pela análise visual, foi possível concluir que este material tinha uma granulometria extensa, dado a existência de partículas finas e grossas em simultâneo, como ilustra a Figura 6, tendo as suas partículas maiores cerca de 20 a 25 mm.



a) Aspeto geral da amostra



b) Pormenor da amostra

Figura 6 – Amostra 1: a) Aspeto geral da amostra; b) Pormenor da amostra

#### 4.2.2 Amostra 2

A amostra 2, como mostra a Figura 7, possuía uma granulometria muito pouco grosseira, com as partículas maiores na ordem dos 5 a 10 mm. Esta amostra era composta na sua maior parte pelos materiais típicos de RCD, como partículas de betão, argamassas, cerâmicos, vidro, alguma pedra e madeira.



a) Aspeto geral da amostra



b) Pormenor da amostra

Figura 7 – Amostra 2: a) Aspeto geral da amostra; b) Pormenor da amostra

#### 4.2.3 Amostra 2-B

A amostra 2-B, que serviria de complemento da amostra 2 caso a semelhança entre as suas granulometrias fosse evidente, era praticamente idêntica a esta no tipo de resíduos que a compunham. Quanto à sua granulometria, a fração grosseira (partículas com tamanho igual ou superior a 4 mm) da amostra 2-B aparentava ser muito semelhante à da amostra 2, no entanto era possível observar uma maior quantidade de finos. A Figura 8 ilustra o aspeto geral da amostra (a) e o pormenor da mesma (b).



a) Aspeto geral da amostra



b) Pormenor da amostra

Figura 8 – Amostra 2-B: a) Aspeto geral da amostra; b) Pormenor da amostra



#### 4.2.4 Amostra 3

A amostra 3 apresentava claramente uma granulometria bastante grosseira, com a fração de partículas grossas a ter um grande peso relativo na amostra, tendo partículas com tamanho máximo de cerca de 40 a 50 mm. Em relação à fração fina, esta era visivelmente inferior face à fração grossa. Os materiais constituintes observados na amostra 3 eram betão, argamassas, cerâmicos, pedras naturais e alguma madeira.



a) Aspeto geral da amostra



b) Pormenor da amostra

Figura 9 – Amostra 3: a) Aspeto geral da amostra; b) Pormenor da amostra

#### 4.2.5 Amostra 3-B

A amostra 3-B, como referido no subcapítulo 4.1, foi recolhida para suprir a falta de material da amostra 3. Tal como a amostra 3, a amostra 3-B tinha uma granulometria grosseira, com praticamente nenhuns finos visíveis, e um tamanho máximo de partículas a rondar os 50 mm. Os materiais que a constituíam eram semelhantes aos da amostra 3, sendo essencialmente betão, argamassas, pedra natural, partículas de vidro e também algum gesso. A Figura 10 ilustra o aspeto geral da amostra (a) e o pormenor da mesma (b).



a) Aspeto geral da amostra



b) Pormenor da amostra

Figura 10 – Amostra 3-B: a) Aspeto geral da amostra; b) Pormenor da amostra

#### 4.2.6 Amostra 4

A amostra 4, tal como mostra a Figura 11, aparentava ter uma granulometria fina, tendo portanto poucas partículas grossas visíveis. Esta amostra tinha um aspeto “sujo”, de cor acastanhada, com algumas partículas de plástico, madeira, gesso e papel. Como é visível na Figura 11, as partículas mais grosseiras tinham uma dimensão de cerca de 40 a 50 mm. Os materiais que a constituíam eram os típicos de RCD, tais como betão, argamassas, cerâmicos, pedras naturais e algum vidro.



a) Aspeto geral da amostra



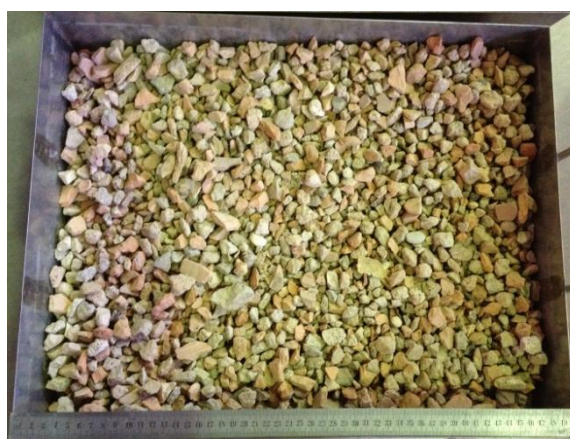
b) Pormenor da amostra

Figura 11 – Amostra 4: a) Aspeto geral da amostra; b) Pormenor da amostra



#### 4.2.7 Amostra 5

A amostra 5 caracterizava-se pela pouca variabilidade no tamanho das suas partículas, já que não era perceptível a existência de finos na amostra, e o tamanho máximo das suas partículas situava-se no intervalo de 15 a 20 mm, como é evidenciado na Figura 12. De salientar que a referida amostra aparentava estar livre de partículas plásticas, papel, madeira, etc., tendo como composição os materiais típicos de RCD, como betão, argamassas, cerâmicos e pedra natural.



a) Aspeto geral da amostra



b) Pormenor da amostra

Figura 12 – Amostra 5: a) Aspeto geral da amostra; b) Pormenor da amostra

### **4.3 Campanha de ensaios**

#### *4.3.1 Considerações prévias*

A campanha de ensaios laboratoriais do presente trabalho foi realizada tendo em conta os ensaios das normas aplicáveis nas especificações LNEC. Foram realizados ainda ensaios complementares de modo a que a caracterização dos agregados em estudo fosse o mais completa possível.

Devido a limitações técnicas e laboratoriais, apenas foi possível realizar os ensaios respeitantes aos parâmetros geométricos e de natureza que as especificações LNEC preveem (granulometria, qualidade dos finos, classificação dos agregados grossos reciclados e percentagem de superfícies esmagadas e partidas), ficando os parâmetros de comportamento mecânico e químicos por estudar. Assim, e para que a caracterização laboratorial se tornasse mais exaustiva, foram realizados ensaios de determinação de massa volúmica e absorção de água, compactação (Proctor modificado) e índice de achatamento.

Com o decorrer da campanha de ensaios, surgiu a impossibilidade de serem realizados todos os ensaios com a amostra 3, devido à falta de amostra. Assim, apenas foi possível realizar os seguintes ensaios na referida amostra: granulometria, azul-de-metileno, equivalente de areia, massa volúmica e absorção de água.

Na amostra 1, de material betuminoso, foram realizados apenas os ensaios cuja norma não limitava a sua aplicação a agregados não betuminosos. Como tal, não foram realizados os seguintes ensaios na amostra betuminosa: classificação de agregados grossos reciclados e percentagem de superfícies esmagadas e partidas.

As amostras 3-B e 5, devido à pouca representatividade da fração passada no peneiro de 2 mm (1,8% no caso da amostra 3-B e 7,6% na amostra 5), não foram sujeitas aos ensaios de azul-de-metileno e equivalente de areia, já que para retirar a quantidade suficiente de finos para estes ensaios seria necessário peneirar uma quantidade indisponível de amostra.



Na amostra 3-B, o ensaio Proctor não produziu dados consistentes e fiáveis, por isso não irá ser considerado para análise e discussão de resultados. O referido ensaio não foi realizado na amostra 3 por indisponibilidade de amostra.

No capítulo Anexos encontram-se os boletins dos ensaios realizados.

O Quadro 13 apresenta o resumo dos ensaios executados a todas as amostras, assim como as suas limitações na realização dos mesmos.

Quadro 13 – Resumo da campanha de ensaios realizada.

ENSAIOS	1	2	2-B	3	3-B	4	5
Granulometria (NP EN 933-1)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Equivalente de areia (NP EN 933-8)	✓	✓	✓	✓	N.A**	✓	N.A**
Azul-de-metileno (NP EN 933-9)	✓	✓	✓	✓	N.A**	✓	N.A**
Classificação de agregados grossos reciclados (NP EN 933-11)	✓	✓	✓	X	✓	✓	✓
Percentagem de superfícies esmagadas e partidas (NP EN 933-5)	N.A.*	✓	✓	X	✓	✓	✓
Proctor (LNEC E 197-1966)	✓	✓	✓	X	✓	✓	✓
Massa volúmica e absorção de água (NP EN 1097-6)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Forma: Índice de achatamento (NP EN 933-3)	✓	✓	✓	X	✓	✓	✓

N. A.\* – Não aplicável; Amostra betuminosa.

N. A.\*\* – Não aplicável; Amostra sem finos.

#### 4.3.2 Granulometria

A análise granulométrica foi efetuada de acordo com a norma NP EN 933-1:2000 – “Ensaio das propriedades geométricas dos agregados, Parte 1: Análise granulométrica”.

O objetivo deste ensaio é estabelecer a análise granulométrica dos agregados, relacionando o peso de cada fração granulométrica presente em cada peneiro com o peso total da amostra peneirada.

Este ensaio consistiu numa lavagem preliminar das amostras para retirar a fração inferior a 63  $\mu\text{m}$ , e posterior secagem do material. De seguida, a amostra foi sendo colocada na série de peneiros de abertura decrescente (Figura 13a), tendo sido agitada mecanicamente através de um agitador vibratório (Figura 13b).



a) Peneiros de ensaio ISO 565



b) Agitador vibratório

Figura 13 – Equipamentos usados na peneiração.

As massas retidas em cada peneiro foram pesadas e relacionadas com o peso seco inicial da amostra (Figura 14).



Figura 14 – Amostra 2 fracionada após peneiração.

Com estes dados, foi possível obter as percentagens passadas cumulativas em cada peneiro para análise numérica (Quadro 14) e elaboração de um gráfico com as curvas granulométricas de todas as amostras em estudo (Figura 15).

Quadro 14 – Percentagem de passado acumulado das amostras.

Peneiros (mm)	1	2	2-B	3	3-B	4	5
63,0	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
31,5	100,00	100,00	100,00	96,07	97,22	100,00	100,00
16,0	91,56	100,00	100,00	64,49	30,29	90,84	96,04
8,0	68,92	99,74	99,47	25,31	5,07	82,00	30,38
4,0	45,05	88,46	95,10	17,10	1,93	75,40	8,33
2,0	28,68	48,17	75,28	14,94	1,80	67,06	7,60
1,0	17,14	28,09	55,96	13,11	1,68	58,02	6,60
0,5	10,43	16,70	37,88	10,88	1,52	46,55	5,66
0,25	6,26	8,84	18,80	5,85	1,27	18,76	4,33
0,125	3,79	5,74	10,78	4,17	1,11	12,52	3,67
0,063	2,40	4,30	7,08	3,50	0,97	10,36	3,11

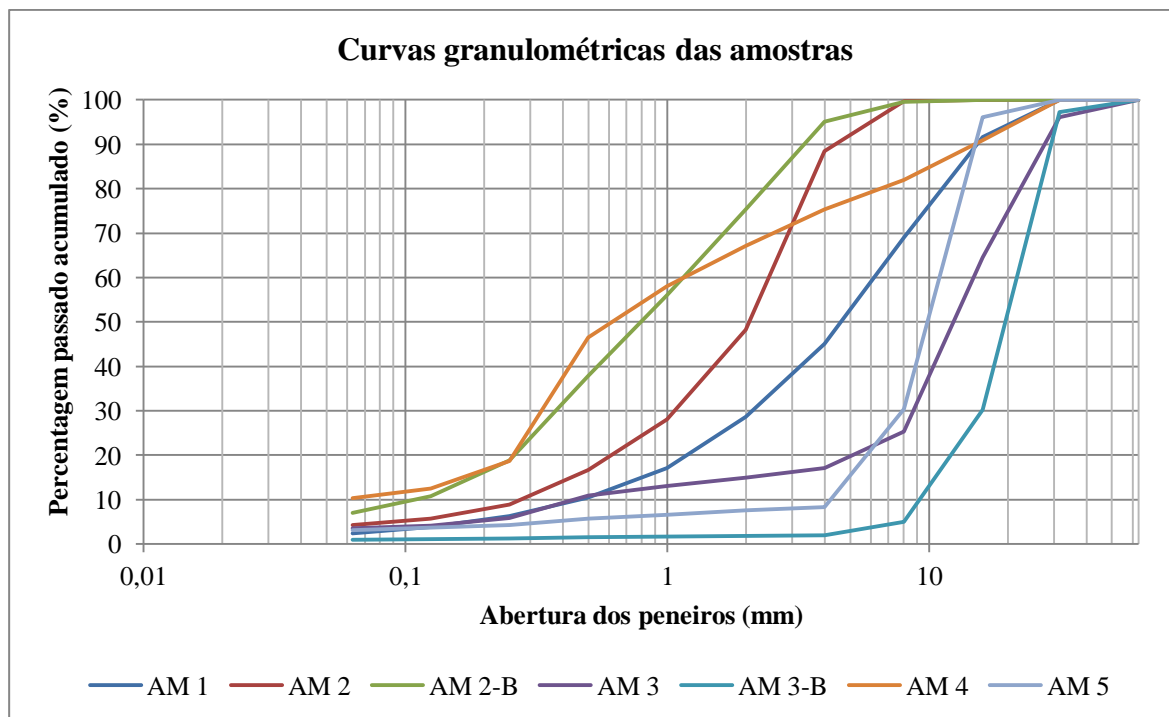


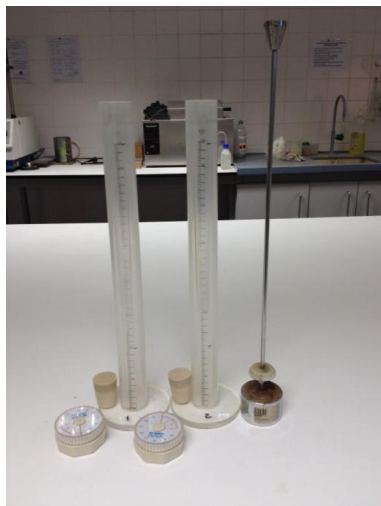
Figura 15 – Curvas granulométricas das amostras estudadas.

Em todas as amostras, o passado acumulado no peneiro de 63 mm foi 100%. Como esperado pela análise visual, as amostras 3 e 3-B foram as que apresentaram partículas com características mais grosseiras, com retidos no peneiro de 31,5 mm. Por sua vez, as amostras 2 e 2-B foram as amostras com os retidos a iniciarem-se em peneiros mais apertados, a terem material retido apenas no peneiro de 8 mm. A amostra 3-B foi a que apresentou menos percentagem de finos, em que apenas 1,93% da amostra passou no peneiro de 4 mm, sendo seguida pela amostra 5, em que 8,33% da amostra passou no mesmo peneiro.

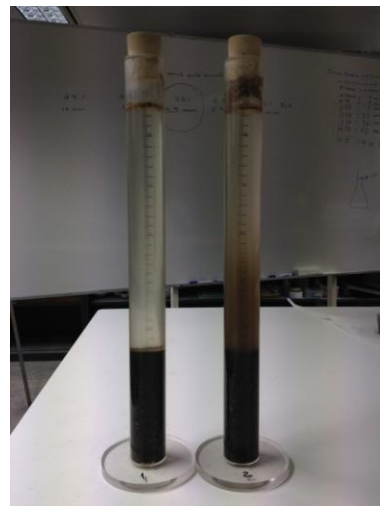
#### 4.3.3 Qualidade e teor dos finos. Equivalente de areia e azul-de-metileno

O teor em argilas e matéria orgânica podem alterar o comportamento mecânico de solos ou agregados, reduzindo o atrito entre partículas, sofrendo alterações volumétricas em presença de água e dificultar as ligações betuminosas ou hidráulicas nas camadas ligadas (Branco et al., 2008). O ensaio do valor de adsorção de azul-de-metileno “exprime globalmente a quantidade e qualidade ou ‘atividade’ da argila presente num dado solo”, e o ensaio de equivalente de areia avalia apenas a “quantidade de finos associados a um agregado”, não avaliando a sua qualidade (Luzia, 2008).

O ensaio do equivalente de areia permite classificar as amostras pela sua plasticidade, através do seu teor de finos. A norma aplicável é a NP EN 933-8:2002 – “Ensaio das propriedades geométricas dos agregados, Parte 8: Determinação do teor de finos – Ensaio do equivalente de areia”. Este ensaio avalia a relação entre a quantidade de material muito fino e o material mais grosseiro, dentro da fração 0/2 mm, através da colocação e agitação do agregado numa solução aquosa em provetas próprias, de modo a obrigar a suspensão do material mais fino, e o depósito do material mais grosseiro. Após algum tempo de espera, as alturas da suspensão dos finos são relacionadas com as alturas do material grosseiro depositado, obtendo assim o valor de equivalente de areia.



a) Equipamentos do equivalente de areia



b) Execução equivalente de areia

Figura 16 – Ensaio de equivalente de areia.

O Quadro 15 classifica os solos em relação à sua plasticidade com o valor de equivalente de areia.

Quadro 15 – Classificação de solos de acordo com equivalente de areia (adaptado de Branco et al. 2008).

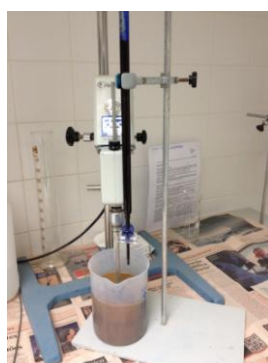
SE (%)	Classificação
$SE < 20$	Solo plástico
$20 < SE < 30$	Não conclusivo
$SE > 30$	Solo não plástico

Os resultados do ensaio do equivalente de areia são expressos em percentagem, e constam no Quadro 17.

A norma aplicável ao ensaio de azul-de-metileno é a norma NP EN 933-9:2002 – “Ensaio das propriedades geométricas dos agregados, Parte 9: Determinação do teor de finos – Ensaio do azul-de-metileno”. O ensaio é realizado na fração 0/2mm e consiste na colocação sucessiva de doses crescentes de azul de metileno na mistura preparada com água destilada e a fração em estudo, até que, pelo método da mancha num papel de filtro, se verifique o aparecimento de uma auréola azul em redor das gotas retiradas da mistura, significando que já há um excesso de azul-de-metileno que não envolve a superfície das partículas finas do agregado. Com isto, o ensaio é dado como terminado, não sendo necessário adicionar mais azul-de-metileno à mistura (Figura 17).



a) Equipamentos do ensaio



b) Execução do ensaio



c) Papel de filtro

Figura 17 – Ensaio do valor de azul-de-metileno

O Quadro 16 classifica os solos em relação à sua sensibilidade à água, de acordo com o valor do ensaio do azul-de-metileno.

Quadro 16 – Classificação de solos de acordo com azul-de-metileno (adaptado de Branco et al. 2008).

MB (g/100g de solo)	Descrição
$MB \leq 0,1$	Solos insensíveis à água
$0,1 < MB \leq 0,2$	Solos muito pouco sensíveis à água
$0,2 < MB \leq 1,5$	Solos com sensibilidade à água
$MB = 1,5$	Valor que distingue os solos areno-siltosos dos areno-argilosos
$MB = 2,5$	Valor que distingue os solos siltosos pouco plásticos dos medianamente plásticos
$MB = 6,0$	Valor que distingue os solos siltosos dos argilosos
$MB = 8,0$	Valor que distingue os solos argilosos dos solos muito argiloso

Os resultados do ensaio do azul-de-metileno são expressos nas unidades “g/kg de solo” (Quadro 17). Porém, para a aplicação desse valor nas especificações LNEC, foi necessário ponderar esse valor com a percentagem da fração passada no peneiro de 2mm, para assim ser possível a comparação entre os valores dos ensaios e os valores admitidos pelas especificações (Quadro 18).

Quadro 17 – Resultados dos ensaios de equivalente de areia e azul-de-metileno.

	1	2	2-B	3	3-B	4	5
Equivalente de areia (%)	79	80	73	65	-	59	-
Azul-de-metileno (g/kg de solo)	0,2	0,2	0,5	1,2	-	1,1	-

Quadro 18 – Resultados do azul-de-metileno extrapolados à totalidade da amostra.

	1	2	2-B	3	3-B	4	5
$MB_{0/D}^{(a)}$	0,1	0,1	0,4	0,2	-	0,7	-

(a) -  $MB_{0/D}$  – O valor do azul-de-metileno expresso em g/kg segundo a norma de ensaio (NP EN 933-9) multiplicado pela percentagem da fração passada no peneiro de 2 mm.

Aplicando uma escala de cores ao Quadro 17 e ao Quadro 18, em que a cor vermelha significa maior teor de finos, e a cor verde significa menor teor de finos, é possível relacionar o ensaio do equivalente de areia com o de azul-de-metileno, já que apresentam dados com significados praticamente coincidentes, definindo todas as amostras como não plásticas e insensíveis, ou pouco sensíveis, à água. Isto significa que as amostras estudadas são livres de argilas e outros finos que podem prejudicar o comportamento mecânico das mesmas.



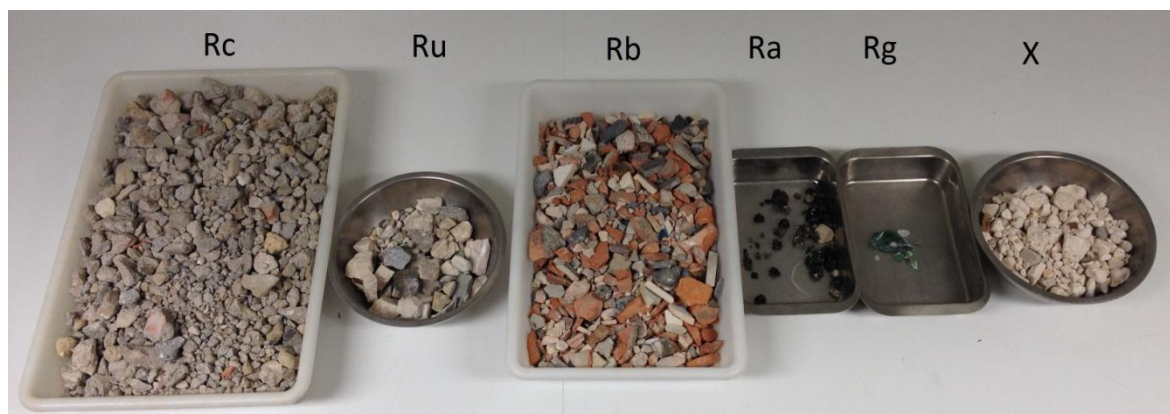
#### 4.3.4 Classificação de agregados grossos reciclados

Este ensaio foi realizado segundo a norma NP EN 933-11:2011 – “Ensaio das propriedades geométricas dos agregados. Parte 11: Ensaio para classificação dos constituintes de agregados grossos reciclados”. O objetivo deste ensaio é a divisão dos diferentes constituintes das amostras de modo a obter o seu peso relativo em percentagem, na fração 4/63mm. O procedimento consiste na submersão em água da amostra para que as partículas flutuantes sejam retiradas, posteriormente secas em estufas e o seu volume registado. Os constituintes não flutuantes da amostra são então secos em estufa, e as suas partículas separadas manualmente nos diferentes tipos de material, como definido no Quadro 19 que consta na norma NP EN 933-11. Após a divisão nos diversos tipos de material, cada um destes é pesado e relacionado com o peso inicial seco, sendo o resultado apresentado em percentagem.

Quadro 19 – Constituintes não flutuantes de agregados reciclados grossos.

Constituintes não flutuantes	Descrição
R <sub>C</sub>	Betão, produtos de betão, argamassa, blocos de betão de alvenaria
R <sub>U</sub>	Agregados não ligados, pedra natural e agregados tratados com ligantes hidráulicos
R <sub>b</sub>	Elementos cerâmicos de alvenaria (tijolos, telhas), blocos silico-calcários de alvenaria, betão celular não flutuante
R <sub>a</sub>	Materiais betuminosos
R <sub>g</sub>	Vidro
X	Outros: materiais coesivos (argila e solo), metais (ferrosos e não ferrosos), madeira não flutuante, plásticos, borrachas e estuque

A Figura 18 apresenta os diversos constituintes da amostra 3-B já separados e identificados pelo respetivo símbolo (a), e ainda as partículas flutuantes da amostra 4 após secagem em estufa (b).



a) – Proporção dos constituintes da amostra 3-B



b) – Partículas flutuantes da amostra 4

Figura 18 – Ensaio da classificação de agregados grossos reciclados.

O Quadro 20 apresenta os resultados do ensaio de classificação de agregados grossos reciclados. De referir que na amostra 1, por ser betuminosa, foi considerado que o seu único constituinte era material betuminoso; ressalva-se ainda que o ensaio não foi efetuado na amostra 3 por não haver material desta amostra.

Quadro 20 – Resultados do ensaio de classificação de agregados grossos reciclados.

		1	2	2-B	3	3-B	4	5
X	(%)	0,00	0,00	0,78	-	3,79	0,45	0,19
R <sub>C</sub>		0,00	68,07	54,86	-	60,41	52,64	48,06
R <sub>U</sub>		0,00	13,48	14,48	-	6,53	10,25	12,02
R <sub>b</sub>		0,00	17,76	28,53	-	28,41	34,69	39,37
R <sub>a</sub>		100,00	0,64	1,19	-	0,53	0,48	0,00
R <sub>g</sub>	(cm <sup>3</sup> /kg)	0,00	0,03	0,08	-	0,14	0,09	0,12
FL		0,00	1,01	1,87	-	5,33	9,63	2,63

X – outros: plásticos, borrachas, metais (ferrosos e não ferrosos), madeira não flutuante e estuque;

R<sub>C</sub> – betão, produtos de betão, argamassa, blocos de betão de alvenaria;

R<sub>U</sub> – agregados não ligados, pedra natural e agregados tratados com ligantes hidráulicos;

R<sub>b</sub> – elementos de alvenaria de materiais argilosos (tijolos, ladrilhos e telhas), elementos de alvenaria de silicatos de cálcio e betão celular não flutuante;

R<sub>a</sub> – materiais betuminosos;

R<sub>g</sub> – vidro;

FL – material flutuante.

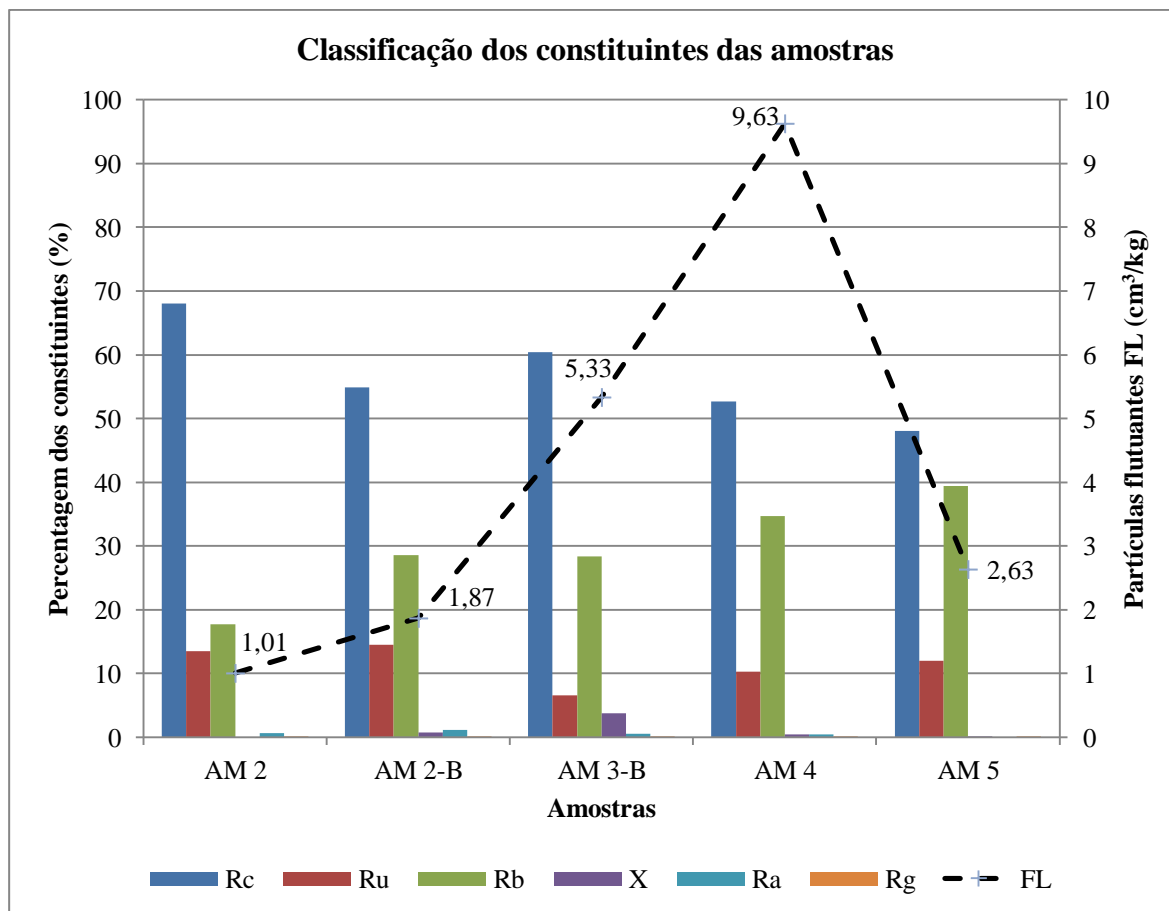


Figura 19 – Representação gráfica da classificação dos constituintes das amostras.

Na Figura 19 são apresentados os resultados do ensaio em consideração sob a forma gráfica de modo a facilitar a leitura dos dados. Os resultados referentes aos constituintes “R<sub>C</sub>”, “R<sub>U</sub>”, “R<sub>b</sub>”, “X”, “R<sub>a</sub>”, “R<sub>g</sub>” estão apresentados na escala 0-100 (%), enquanto os dados de “FL” (linha a tracejado) estão na escala 0-10 (cm<sup>3</sup>/kg).

#### 4.3.5 Percentagem de superfícies esmagadas e partidas

O ensaio foi realizado segundo o procedimento da norma europeia NP EN 933-5:2002 – “Ensaio das propriedades geométricas dos agregados. Parte 5: Determinação da percentagem de superfícies esmagadas e partidas nos agregados grossos”. Apesar de a norma referir que o ensaio só é aplicável a amostras de agregado grosso natural, foi considerado que seria relevante obter mais este dado geométrico das amostras em estudo, visto que é uma exigência na especificação LNEC E 473, referente a camadas de base e sub-base granulares. O ensaio consiste em peneirar a amostra, segundo a norma NP EN 933-1 (ver subcapítulo 4.3.2), na fração 4/63mm (Figura 20). De seguida, as partículas de cada fração granulométrica foram separadas segundo o seguinte critério:

- tc – partículas totalmente esmagadas (mais de 90% da superfície esmagada ou partida);
- c – partículas esmagadas (50% ou mais da superfície esmagada ou partida);
- r – partículas esmagadas (50% ou menos da superfície esmagada ou partida);
- tr – partículas totalmente arredondada (mais de 90% da superfície arredondada).

Por fim, a massa de cada um destes grupos é obtida e relacionada com o peso inicial da amostra, e expressa em percentagem, como apresentado no Quadro 21. É importante ter em conta que o critério na escolha manual das partículas através da análise visual das suas facetas pode tornar-se subjetivo, sendo importante que seja um único operador a realizar o ensaio de modo a minorar o erro cometido.

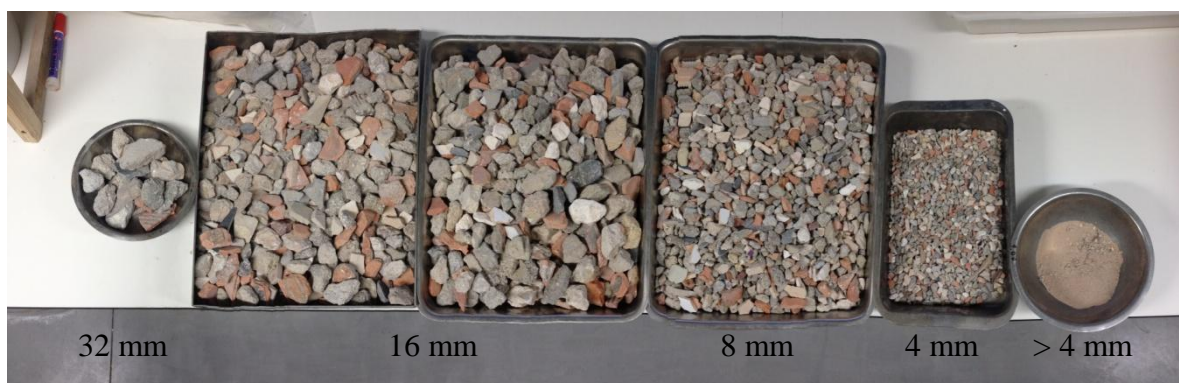


Figura 20 – Frações da AM3-B para ensaio das superfícies esmagadas e partidas.

O Quadro 21 apresenta os resultados obtidos para o ensaio da percentagem de superfícies esmagadas e partidas. Embora a norma aplicável não seja explícita neste critério, foi admitida a exclusão da amostra betuminosa deste ensaio por a superfície dos agregados que compõem as partículas betuminosas não ser visível e, portanto, não seria possível avaliar o grau de esmagamento ou fratura da sua superfície. De referir ainda que o ensaio não foi efetuado na amostra 3 por não haver material desta amostra.

Quadro 21 – Percentagem de superfícies esmagadas e partidas das amostras

		1	2	2-B	3	3-B	4	5
C <sub>tc</sub>	(%)	-	20	27	-	32	27	36
C <sub>c</sub>		-	75	71	-	67	68	61
C <sub>r</sub>		-	3	1	-	1	1	2
C <sub>tr</sub>		-	1	1	-	0	4	1

C<sub>tc</sub> – partículas totalmente esmagadas ou partida (mais de 90% da superfície esmagada ou partida);

C<sub>c</sub> – partículas esmagadas ou partida (50% ou mais da superfície esmagada ou partida);

C<sub>r</sub> – partículas arredondada (50% ou menos da superfície esmagada ou partida);

C<sub>tr</sub> – partículas totalmente arredondada (mais de 90% da superfície arredondada).

#### 4.3.6 *Proctor modificado*

O ensaio de compactação “Proctor” tem como objetivo a determinação da curva de compactação, que permite estabelecer a relação entre o teor de água e a baridade seca máxima de um solo quando compactado, tendo como norma aplicável da execução do ensaio a Especificação LNEC E 197-1966 – “Solos. Ensaio de compactação”. Este ensaio pode ser realizado com compactação leve (Proctor normal) ou compactação pesada (Proctor modificado) (Santos, 2008). O molde usado no ensaio pode ser pequeno ou grande, sendo usado o molde grande quando a massa da amostra retida no peneiro ASTM nº4 (4,76 mm) for superior a 20% da massa total da amostra, segundo especificado na norma aplicável.

O procedimento de ensaio consistiu em peneirar a amostra com o peneiro ASTM de 19 mm, e determinar se o retido neste peneiro era ou não superior a 20% da amostra total. Caso fosse superior a 20%, o ensaio não teria significado e caso fosse inferior, a massa retida nos 19 mm seria substituída por igual massa de retido no peneiro 4,76 mm e passado no peneiro de 19 mm. Esta substituição não foi efetuada nas amostras de agregados grossos reciclados, tendo sido considerado que nestas não seria coerente aplicar este método, por não se poder garantir a igual proporção dos materiais constituintes das amostras consoante a sua granulometria, quer na fração superior a 19 mm, quer na fração 4,76/19 mm. Por este motivo, a substituição prevista na norma foi apenas aplicada na amostra de material betuminoso, dado que estava garantido que a amostra era toda constituída por um só tipo de material. Então, optou-se pela alternativa de corrigir por ponderação o valor da baridade seca, obtida pelo ensaio de compactação, com o valor da massa volúmica da fração acima dos 19 mm (obtido segundo o método do cesto descrito no subcapítulo 4.3.7), como descrito na norma “AASHTO T 224 – Correction for coarse particles in the soil compaction test”. Com este procedimento, é considerado que a fração superior a 19 mm não tem influência no comportamento mecânico da amostra aquando a compactação, mas a sua massa volúmica tem de ser incorporada em termos de cálculos da baridade seca máxima obtida no ensaio Proctor. Também o valor do teor ótimo de água foi alvo de correção segundo a norma AASHTO T 224, por se considerar que a fração acima dos 19 mm fica saturada depois dos vazios da fração abaixo de 19 mm ficarem preenchidos. De seguida, a fração passada no peneiro 19 mm foi então compactada em vários provetes num molde (pequeno ou grande), com diferentes teores de água, geralmente variando 2% entre eles. Os



provetes compactados foram pesados, colocados em estufa e o seu peso medido após a sua secagem completa.



Figura 21 – Provetes da amostra 1 para ensaio de compactação.



a) – Perspectiva geral.



b) – Pormenor do pilão

Figura 22 – Compactador do ensaio Proctor.





Figura 23 – Pormenor de molde pequeno com amostra compactada.

Como referido no subcapítulo 4.3.1, o ensaio não foi realizado na amostra 3 e os resultados da amostra 3-B não foram considerados consistentes para análise. A granulometria da amostra 3-B já fazia antever alguma dificuldade na obtenção de valores fiáveis no ensaio, dado que 70% da amostra ficou retida no peneiro de 16 mm (ver subcapítulo 4.3.2), significando que as suas partículas tinham um tamanho considerado grande. Tal fato dificultava a previsão de comportamento da amostra na compactação para diferentes teores de água.

Quadro 22 – Resultados do ensaio de compactação Proctor.

	1	2	2-B	3	3-B	4	5	
Baridade (< 19mm)	1,95	1,76	1,80	-	-	1,97	1,72	(g/cm <sup>3</sup> )
Massa volúmica (> 19mm)	-	-	-	-	-	2,53	-	
Baridade ponderada	1,95	1,76	1,80	-	-	2,01	1,72	
Teor ótimo (< 19mm)	5,2	3,0	9,6	-	-	9,0	7,5	(%)
Teor água (> 19mm)	-	-	-	-	-	9,3	-	
Teor de água ponderado	5,2	3,0	9,6	-	-	9,0	7,5	

#### 4.3.7 Massa volúmica e absorção de água

O método para a determinação da massa volúmica e absorção de água das amostras foi realizado conforme a norma NP EN 1097-6:2003 – “Ensaio das propriedades mecânicas e físicas dos agregados. Parte 6: Determinação da massa volúmica e absorção de água.”.

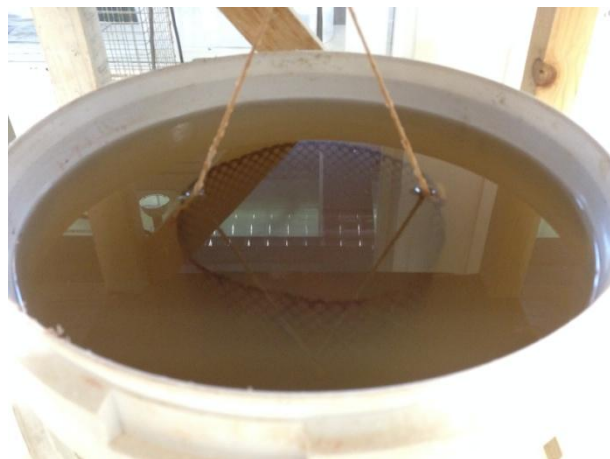
Citando a referida norma, “a massa volúmica é calculada a partir da razão entre a massa e o volume”, em que a massa é calculada através da pesagem da massa seca do provete, e o volume é calculado “a partir da massa de água deslocada, quer pela redução de massa no método do cesto de rede metálica, quer por pesagens no método do picnómetro”.

Embora a norma defina o método do picnómetro para as frações 0,063/4 mm e 4/31,5 mm, e o método do cesto de rede metálica na fração 31,5/63 mm, não foi possível a realização do ensaio nestes termos por limitações laboratoriais, tendo sido realizado o método do picnómetro na fração 0/8 mm e o método do cesto de rede metálica na fração 8/63 mm.

O método do cesto de rede metálica consistiu em submergir a fração 8/63 mm de agregado durante 24 horas, dentro do cesto de rede metálica. Passadas as 24 horas, foi registado o peso da amostra submersa, como ilustrado na Figura 24.



a) – Submersão do provete em água



b) – Pesagem do provete no cesto de rede metálica

Figura 24 – Método do cesto de rede metálica.

De seguida, foi registado o peso do cesto sem amostra, também submerso. A amostra foi colocada num tabuleiro e a sua superfície seca ao ar, de maneira a poder ser registado o seu peso saturado para determinação da absorção de água. Após tratamento de dados, foi possível determinar a massa volúmica e o valor de absorção de água desta fração. Este procedimento foi efetuado em todas as amostras exceto na amostra 2 e 2-B, cujas granulometrias indicavam frações retidas no peneiro de 8 mm de apenas 0,3% e 0,5%.

O método do picnómetro foi efetuado na fração 0/8 mm de todas as amostras em estudo. Este método baseou-se no enchimento dos picnómetros de água até à marca considerada e pesar. Em seguida, a fração do agregado em estudo foi colocada no picnómetro, o mesmo foi cheio de água, agitado de modo a retirar o máximo de bolhas de ar presas nas partículas e deixado em repouso 24 horas, de modo a promover a saturação completa da fração, como ilustrado na Figura 25. Depois, com o auxílio de uma vareta de vidro, a amostra foi agitada mais algumas vezes de modo a retirar as bolhas retidas, o picnómetro foi cheio até à marca considerada e pesado. Após decantação, as amostras foram colocadas em tabuleiros e deixadas secar ao ar, até o material apresentar o estado saturado com superfície seca, determinado com o método do molde metálico indicado na norma aplicável ao ensaio, e o seu peso registado. De seguida, as amostras foram secas em estufa e o seu peso registado.



a) – Picnómetros cheios de água



b) – Picnómetros com amostra

Figura 25 – Método do picnómetro.

No Quadro 23, são apresentados os valores para a massa volúmica e absorção de água de todas as amostras em estudo, determinados através da ponderação dos valores para as duas frações consideradas, com a percentagem de massa retida, no caso da fração 8/63 mm, e massa passada, no caso da fração 0/8 mm, no peneiro de 8 mm. O mesmo método ponderativo foi aplicado para a absorção de água.

Quadro 23 – Resultados dos ensaios de massa volúmica e absorção de água.

	1	2	2-B	3	3-B	4	5	
$\rho_a (< 8\text{mm})$	2,45	2,64	2,65	2,64	2,62	2,65	2,54	(Mg/m <sup>3</sup> )
$\rho_a (> 8\text{mm})$	2,46			2,49	2,46	2,53	2,52	
$\rho_a$	2,46			2,60	2,61	2,55	2,53	
$\rho_{rd} (< 8\text{mm})$	2,37	2,14	2,24	2,20	2,17	2,24	2,06	(Mg/m <sup>3</sup> )
$\rho_{rd} (> 8\text{mm})$	2,39			2,07	2,10	2,05	2,05	
$\rho_{rd}$	2,37			2,18	2,17	2,13	2,06	
$\rho_{ssd} (< 8\text{mm})$	2,40	2,33	2,39	2,37	2,34	2,40	2,25	(Mg/m <sup>3</sup> )
$\rho_{ssd} (> 8\text{mm})$	2,42			2,24	2,24	2,24	2,24	
$\rho_{ssd}$	2,40			2,36	2,34	2,38	2,25	
$WA_{24} (< 8\text{mm})$	1,4	8,9	7,0	7,5	7,9	6,8	9,1	(%)
$WA_{24} (> 8\text{mm})$	1,2			8,2	7,0	9,3	9,0	
$WA_{24}$	1,3			7,7	7,8	8,9	9,1	

$\rho_a$  – Massa volúmica do material impermeável das partículas;

$\rho_{rd}$  – Massa volúmica das partículas secas em estufa;

$\rho_{ssd}$  – Massa volúmica das partículas saturadas com superfície seca;

$WA_{24}$  – Absorção de água após imersão durante 24 horas.

Da análise do Quadro 23, ressalva-se o fato de todas as massas volúmicas das partículas inferiores a 8 mm serem mais altas numericamente do que as das partículas superiores a 8 mm. De salientar que se confirmou a baixa capacidade absorptiva da amostra 1, constituída por material betuminoso, devido às suas partículas terem os seus poros cobertos de betume.

#### 4.3.8 Índice de forma. Achatamento

O índice de achatamento permite avaliar se as partículas das amostras tendem a ter uma forma cúbica, a mais apropriada para aplicação em pavimentos rodoviários, pois as partículas achatadas são mais frágeis que as cúbicas (Almiro, 2012). A norma de ensaio aplicável a este parâmetro é a NP EN 933-3:2002 – “Ensaio das propriedades geométricas dos agregados. Parte 3: Determinação da forma das partículas – Índice de achatamento”. Este ensaio consiste basicamente em fazer passar uma amostra peneirada em diferentes frações num peneiro de barras e relacionar a massa passada nos peneiros ASTM com a massa passada nas ranhuras do peneiro de barras correspondentes. No Quadro 24 apresentam-se os resultados obtidos.

Quadro 24 – Índice de achatamento das amostras.

	1	2	2-B	3	3-B	4	5
FI	12	9	18	-	29	19	17

Como se pode constatar com o auxílio de uma escala de cores, a amostra 2 teve o menor valor de índice de achatamento e a amostra 3-B o maior valor deste parâmetro. Seria expectável que a amostra 1, de material betuminoso, tivesse o valor mais baixo de índice de achatamento, dado que supostamente o material desta amostra terá sido selecionado segundo requisitos normativos quanto à sua forma, e tal não foi verificado com o ensaio realizado.



## **5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS**

A aplicabilidade de RCD nas camadas não ligadas de pavimentos rodoviários foi discutida de acordo com os critérios definidos na especificação LNEC E 474, referente a camadas de aterro e leito de pavimento, e LNEC E 473, relativa às camadas de base e sub-base granular. Como referido no subcapítulo 4.3, apenas foram analisados os critérios referentes à geometria e natureza dos agregados. Em ambas as especificações foi necessário enquadrar as amostras em classes e posteriormente em categorias, para verificar o campo de aplicação dos agregados reciclados. Além da aplicação dos requisitos das especificações LNEC nas amostras caracterizadas neste trabalho, estes foram também comparados com os requisitos relativos a agregados naturais que constam no Caderno de Encargos das Estradas de Portugal (CEEP), de modo a poderem ser avaliadas as características mais restritivas ou alargáveis dos agregados reciclados, face às propriedades dos agregados naturais à luz dos documentos de referência de cada material. Apesar do CEEP não ser um documento normativo, é tido como referência na construção e reabilitação de pavimentos rodoviários, e por isso os seus requisitos foram considerados comparáveis com os das normas LNEC. Nos subcapítulos 5.1 e 5.2 foi efetuada em primeiro lugar a aplicação concreta dos parâmetros normativos nas amostras estudadas, sendo de seguida realizada a sua comparação com os parâmetros de agregados naturais do CEEP, nas camadas correspondentes.

### **5.1 Camadas de aterro e leito de pavimento**

Os requisitos que constam na especificação LNEC E 474 respeitantes às características geométricas e de natureza são o tamanho máximo das partículas, teor e qualidade da fração fina dos agregados (Quadro 25).

Quadro 25 – Parâmetros geométricos e de natureza da especificação LNEC E 474.

Requisitos de conformidade			Categoria		
			MAT1	MAT2	
Parâmetros	Propriedade	Norma de ensaio	B, MB e C	B e C	MB
Geométricos e de natureza	Dimensão máxima das partículas ( $D_{\text{máx}}$ )	-	$D_{\text{máx}} \leq 150 \text{ mm}$	$D_{\text{máx}} \leq 80 \text{ mm}$	
	Conteúdo máximo em finos (passado no peneiro 80 $\mu\text{m}$ )	LNEC E 196	10%	10%	
	Qualidade dos finos	EN 933-9	$MB_{0/D} < 2$	$MB_{0/D} < 1$	

No Quadro 26 estão definidos os requisitos para a classificação das amostras conforme a especificação LNEC E 474.

Quadro 26 – Definição da classe de agregados reciclados (LNEC E474).

Classe	Proporção dos constituintes					
	$R_C + R_U + R_g$ (%)	$R_g$ (%)	$R_a$ (%)	$R_b + R_s$ (%)	FL ( $\text{cm}^3/\text{kg}$ )	X (%)
B	$\geq 90$	$\leq 10$	$\leq 5$	$\leq 10$	$\leq 5$	$\leq 1$
MB	$\leq 70$	$\leq 25$	$\geq 30$	$\leq 70$	$\leq 5$	$\leq 1$
C	Sem limite	$\leq 25$	$\leq 30$	Sem limite	$\leq 5$	$\leq 1$

$R_C$  – betão, produtos de betão e argamassas;

$R_U$  – agregados não ligados, pedra natural e agregados tratados com ligantes hidráulicos;

$R_S$  – solos;

$R_a$  – materiais betuminosos;

$R_b$  – elementos de alvenaria de materiais argilosos (tijolos, ladrilhos e telhas), elementos de alvenaria de silicatos de cálcio e betão celular não flutuante;

$R_g$  – vidro;

FL – material flutuante;

X – outros: plásticos, borrachas, metais (ferrosos e não ferrosos), madeira não flutuante e estuque.

Através da aplicação dos requisitos acima referidos, as amostras foram classificadas em B, MB ou C (Quadro 27).



Quadro 27 – Classificação das amostras com a especificação LNEC E 474.

		1	2	2-B	3	3-B	4	5
$R_C + R_U + R_g$	(%)	0,00	81,58	69,43	-	67,08	62,98	60,20
$R_g$		0,00	0,03	0,08	-	0,14	0,09	0,12
$R_a$		100,00	0,64	1,19	-	0,53	0,48	0,00
$R_b + R_s$		0,00	17,76	28,53	-	28,41	34,69	39,37
X		0,00	0,00	0,78	-	3,79	0,45	0,19
FL	(cm <sup>3</sup> /kg)	0,00	1,01	1,87	-	5,33	9,63	2,63
Classe atribuída		MB	C	C	-	N.C.	N.C.	C

N.C. – Não cumpre.

Como se pode constatar, apenas as amostras 1, 2, 2-B e 5 puderam ser enquadradas nas classes definidas na especificação LNEC. As amostras 3-B e 4 não foram colocadas em nenhuma classe devido aos seus elevados valores de matéria flutuante e outros materiais (no caso da amostra 3-B, devido ao seu elevado teor em estuque). Os materiais flutuantes podem ser alterados ou lixiviados devido à movimentação de água dentro das camadas, prejudicando o desempenho dos agregados, e os materiais classificados como “X” podem interagir negativamente com o ambiente, tornando-se agentes poluidores deste.

De seguida, as amostras classificadas foram categorizadas de acordo com os parâmetros geométricos e de natureza que constam na especificação LNEC E 474 (Quadro 28):

Quadro 28 – Categorização das amostras segundo a especificação LNEC E 474.

Propriedade	1	2	2-B	5
$D_{m\acute{a}x}$ (mm)	16	8	8	16
Passado 80 $\mu$ m (%)	< 10%	< 10%	< 10%	< 10%
$MB_{0/D}$	0,1	0,1	0,4	< 1 <sup>(a)</sup>
Categorização das amostras	MAT 2 / MB	MAT 2 / C	MAT 2 / C	MAT 2 / C

(a) – Devido à pouca representatividade da fração fina, foi assumido que os finos existentes não têm influência no comportamento mecânico da amostra, e por isso o valor de  $MB_{0/D}$  não é restritivo na amostra 5.

Quadro 29 – Campo de aplicação das amostras segundo a especificação LNEC E 474.

Categoria	MAT1			MAT2		
Classe	B	MB	C	B	MB	C
Camada de leito	X	X	X	✓	X	✓
Aterro	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Analisando o campo de aplicação pelo Quadro 29 conclui-se que tanto a categoria “MAT1” e “MAT2” podem ser usadas em camada de aterro, independentemente da classe dos agregados. No caso da camada do leito de pavimento, apenas os agregados “MAT2 B” e “MAT2 C” podem ser usadas na realização desta camada. Considerando apenas critérios geométricos e de natureza, conclui-se que as amostras 2, 2-B e 5 podem ser usadas tanto em camadas de aterro como em camadas de leito de pavimento, e a amostra 1 (origem betuminosa) pode apenas ser usada nas camadas de aterro, tendo em conta que a especificação LNEC E 474 refere que “no caso particular de resíduos de misturas betuminosas, estes não podem conter alcatrão”.

Relativamente ao uso de agregados naturais nestas camadas, o CEEP 14.01 “Terraplenagem – Características dos materiais”, de fevereiro de 2009, distingue claramente os requisitos dos materiais naturais para camadas de aterro dos de leito de pavimento.

Nas camadas de aterro realizadas com solos naturais, os requisitos a ter em conta na sua aplicação são: retido no peneiro 19 mm inferior ou igual a 30%, teor natural de água do solo, a sua classificação unificada pela norma ASTM D 2487 e o valor do ensaio CBR (California Bearing Ratio), que mede a deformabilidade de um solo sujeito a uma força de penetração num molde cilíndrico. Não foi possível a realização deste ensaio na caracterização laboratorial das amostras em estudo, contudo, com a análise Quadro 1 do documento em questão, é possível concluir que este requisito é pouco restritivo, dado que possibilita a utilização em quase todas as zonas de aterro de solos com valor de CBR a partir de 5%, o que, excetuando solos argilosos, não é difícil de obter. Em relação ao teor de água natural do solo, o CEEP recomenda um intervalo de  $\pm 20\%$  do teor ótimo de água obtido no ensaio Proctor modificado. Analisando os critérios do LNEC nas camadas de aterro (Quadro 7), verifica-se que estes impõem limites no tamanho máximo das partículas, teor e qualidade

de finos, e ainda no teor de sulfatos solúveis em água. Embora estes critérios não sejam diretamente comparáveis com os apresentados no CEEP 14.01, pode dizer-se que os do CEEP são mais extensíveis, dado que praticamente só excetuam os solos argilosos de serem usados em aterro, e os critérios do LNEC limitadores em termos geométricos, qualidade e teor de finos, e químicos.

Nas camadas de leito de pavimento, os critérios do CEEP analisados foram os de materiais naturais granulares britados, para a comparação com os RCD ser o mais coerente possível. Os critérios para estes materiais são os seguintes:

Quadro 30 – Requisitos de materiais granulares britados em leito de pavimento (CEEP).

Características	Requisitos
Dimensão	0/31,5
Categoria granulométrica	G <sub>B</sub>
Fragmentação/esmagamento	LA <sub>40</sub>
Resistência ao desgaste	M <sub>DE50</sub>
Forma das partículas	FI <sub>35</sub>
Percentagem de partículas esmagadas	C <sub>90/3</sub>
Teor de finos	f <sub>7</sub>
Qualidade dos finos	SE ≥ 35 (se SE < 35, MB ≤ 2.5)

Como se pode verificar, comparando a especificação E 474 com o CEEP relativamente à camada de leito de pavimento, o CEEP define mais critérios de aceitação, como categoria granulométrica, a forma das partículas e a percentagem de partículas esmagadas, critérios ausentes na especificação LNEC. Nos critérios comuns aos dois documentos, o CEEP é mais restritivo quanto ao tamanho máximo das partículas e coeficiente de fragmentação, mas mais extensível quanto ao valor da resistência ao desgaste. Pode então concluir-se que, na generalidade, os critérios para uso de RCD em camadas de leito de pavimento tiveram de ser alargados face aos critérios de materiais naturais. Se assim não fosse, os RCD não cumpririam com os critérios dos materiais naturais, por exemplo o índice de forma, devido à presença de materiais cerâmicos com características achatadas.

## 5.2 Base e sub-base granular

Os requisitos que constam na especificação LNEC E 473 respeitantes às características geométricas e de natureza são o tamanho máximo das partículas, teor e qualidade da fração fina dos agregados, como consta no Quadro 31.

Quadro 31 – Parâmetros geométricos e de natureza da especificação LNEC E 473.

Requisitos de conformidade			Agregados reciclados		
Parâmetros	Propriedade	Norma de ensaio	AGER1 B ou C	AGER2 B ou C	AGER3 B
Geométricos e de natureza	Dimensão	EN 13285	0/31,5	0/31,5	0/31,5
	Sobretamanhos (EN 933-1+A1)	EN 13285	OC <sub>75</sub>	OC <sub>80</sub>	OC <sub>85</sub>
	Classe de granulometria (EN 933-1+A1)	EN 13285	G <sub>B</sub>	G <sub>B</sub>	G <sub>A</sub>
	Teor de finos (EN 933-1+A1)	EN 13285	UF <sub>9</sub> LF <sub>2</sub>	UF <sub>9</sub> LF <sub>2</sub>	UF <sub>9</sub> LF <sub>2</sub>
	Qualidade dos finos (EN 933-9)*	EN 13242 + A1	MB <sub>0/D</sub> < 1	MB <sub>0/D</sub> < 0,8	MB <sub>0/D</sub> < 0,8
	Percentagem de partículas totalmente esmagadas ou partidas e totalmente roladas em agregados grossos (EN 933-5)	EN 13242 + A1	C <sub>50/30</sub>	C <sub>50/10</sub>	C <sub>90/3</sub>

No Quadro 32 estão definidos os requisitos para a classificação das amostras conforme a especificação LNEC E 473.

Quadro 32 – Definição da classe de agregados reciclados (LNEC E 473).

Classe	Proporção dos constituintes					
	$R_C + R_U + R_g$ (%)	$R_g$ (%)	$R_b$ (%)	$R_a$ (%)	FL (cm <sup>3</sup> /kg)	X (%)
B	≥ 90	≤ 5	≤ 10	≤ 5	≤ 5	≤ 1
C	≥ 50	≤ 5	≤ 10	≤ 30	≤ 5	≤ 1

$R_C$  – betão, produtos de betão e argamassas;

$R_U$  – agregados não ligados, pedra natural e agregados tratados com ligantes hidráulicos;

$R_g$  – vidro;

$R_b$  – elementos de alvenaria de materiais argilosos (tijolos, ladrilhos e telhas), elementos de alvenaria de silicatos de cálcio e betão celular não flutuante;

$R_a$  – materiais betuminosos;

FL – material flutuante;

X – outros: plásticos, borrachas, metais (ferrosos e não ferrosos), madeira não flutuante e estuque.

Através da aplicação dos requisitos acima referidos, as amostras foram classificadas em B ou C, como mostra o Quadro 33.

Quadro 33 – Classificação das amostras com a especificação LNEC E 473.

		1	2	2-B	3	3-B	4	5
$R_C + R_U + R_g$	(%)	0,00	81,58	69,43	-	67,08	62,98	60,20
$R_g$		0,00	0,03	0,08	-	0,14	0,09	0,12
$R_b$		0,00	17,76	28,53	-	28,41	34,69	39,37
$R_a$		100,00	0,64	1,19	-	0,53	0,48	0,00
X		0,00	0,00	0,78	-	3,79	0,45	0,19
FL	(cm <sup>3</sup> /kg)	0,00	1,01	1,87	-	5,33	9,63	2,63
Classe atribuída		N.C.	C	C	-	N.C.	N.C.	C

N.C. – Não cumpre.

Como se pode verificar pelo Quadro 33, nenhuma amostra cumpriu o requisito referente à percentagem de materiais cerâmicos ( $R_b$ ), que teria de ser inferior 10% em qualquer classe. Apesar deste fator, e por interesse académico, optou-se por classificar as amostras como

classe C, exceto a amostra 1, que, por ser betuminosa, não foi possível enquadrá-la em nenhuma classe. As amostras 3-B e 4 não cumpriram também com os requisitos relativos a material flutuante (*FL*) e a materiais como estuque, madeira não flutuante, etc. (X).

De seguida, categorizaram-se as amostras em AGER1, AGER2 ou AGER3 de acordo com o estabelecido no Quadro 31.

Quadro 34 – Categorização das amostras segundo a especificação LNEC E 473.

Propriedade	1	2	2-B	3	3-B	4	5
Dimensão	0/16	0/8	0/8	0/31,5	0/31,5	0/16	0/16
Sobretamanho	OC <sub>90</sub>	OC <sub>90</sub>	OC <sub>90</sub>	OC <sub>90</sub>	OC <sub>90</sub>	OC <sub>90</sub>	OC <sub>90</sub>
Classe de granulometria	G <sub>A</sub>	G <sub>C</sub>	G <sub>N</sub>	G <sub>P</sub>	G <sub>N</sub>	G <sub>V</sub>	G <sub>N</sub>
Teor de finos	UF <sub>5</sub> LF <sub>2</sub>	UF <sub>7</sub> LF <sub>4</sub>	UF <sub>9</sub> LF <sub>4</sub>	UF <sub>5</sub> LF <sub>2</sub>	UF <sub>3</sub> LF <sub>N</sub>	UF <sub>12</sub> LF <sub>8</sub>	UF <sub>5</sub> LF <sub>2</sub>
Qualidade de finos	MB <sub>0/16</sub> = 0,1	MB <sub>0/8</sub> = 0,1	MB <sub>0/8</sub> = 0,4	MB <sub>0/31,5</sub> = 0,2	-	MB <sub>0/16</sub> = 0,7	-
Percentagem de partículas totalmente esmagadas ou partidas e totalmente roladas em agregados grossos (EN 933-5)	-	C <sub>50/3</sub>	C <sub>50/3</sub>	C <sub>50/3</sub>	C <sub>50/3</sub>	C <sub>50/10</sub>	C <sub>50/3</sub>
Categorização das amostras	-	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.

N.C. – Não cumpre.

Com a análise do Quadro 34, verifica-se que nenhuma das amostras pode ser categorizada de forma a poder ser usada nas camadas de base e sub-base granulares. O parâmetro que determinou esta situação foi principalmente a classe de granulometria, que não se fixou em G<sub>A</sub> ou G<sub>B</sub>, como é admissível na especificação E 473. Foi admitido que a amostra 3 seria semelhante à amostra 3-B no ensaio da percentagem de superfícies esmagadas e partidas, tendo sido classificada como “C<sub>50/3</sub>”. A amostra 4 não cumpre também o requisito do teor de finos, tendo uma classe UF<sub>12</sub> e o máximo permitido é UF<sub>9</sub>. A amostra 1 não foi categorizada devido a não ser possível classificá-la como classe B ou C. De resto, todos os outros

parâmetros foram cumpridos pelas normas, sendo eles a dimensão dos agregados, sobretamanhos, qualidade dos finos e percentagem de partículas esmagadas e partidas.

Mesmo não sendo possível enquadrar nenhuma amostra no Quadro 35, salienta-se uma vez mais que a aplicação de agregados reciclados nas camadas de base e sub-base está dependente da categoria dos agregados, mas também do tráfego médio de pesados estimado para a via considerada (TMDp).

Quadro 35 – Campo de aplicação das amostras segundo a especificação LNEC E 473.

Categoria	AGER1		AGER2		AGER3
Classe	C	B	C	B	B
Aplicação em camadas de sub-base – TMDp	$\leq 50$	$\leq 150$	$\leq 150$	$\leq 300$	$\leq 300$
Aplicação em camadas de base – TMDp	NR	$\leq 150$	$\leq 150$	$\leq 150$	$\leq 300$

TMDp – Tráfego médio diário de pesados por via.

NR – Não recomendado.

Em relação a materiais naturais nestas camadas, o CEEP 14.03 “Pavimentação – Características dos materiais”, de janeiro de 2012, prevê o uso de solos selecionados e agregado britado de granulometria extensa (ABGE) na camada de sub-base, e apenas AGBE na camada de base. À semelhança do que foi considerado na camada do leito de pavimento no subcapítulo anterior, a comparação entre uso de agregados reciclados e materiais naturais nas camadas de sub-base e base irá ser realizada com base ao AGBE, por este material ser britado, e por isso assemelhar-se mais às características dos agregados reciclados em estudo.

Quadro 36 – Requisitos de ABGE para camadas de base e sub-base (CEEP).

Parâmetros Requisitos	Normas de ensaio	Camadas	
		Sub-base	Base
Geometria e natureza			
Dimensão do agrega- do/mistura	EN 13285	0/31,5	
Sobretamanho	EN 13285	OC <sub>80</sub>	
Curva granulométrica	EN 13285	G <sub>B</sub>	
Conteúdo de finos	EN 13285	UF <sub>7</sub> LF <sub>2</sub>	
Qualidade de finos SE (%) MB (g/kg)	NP EN 933-8 NP EN 933-9	Se 0,063 mm > 3% SE ≥ 40 (SE < 40, MB ≤ 2,5)	Se 0,063 mm > 3% SE ≥ 50 (SE < 50, MB ≤ 2,0)
Índice de achatamento (%)	NP EN 933-3	FI <sub>35</sub>	30 <sup>(a)</sup>
Percentagem de partículas esmagadas e partidas (%)	NP EN 933-5	C <sub>90/3</sub>	
Comportamento mecânico			
Resistência à fragmentação (coef. Los Angeles) (%)	NP EN 1097-2	45 <sup>(a)</sup>	LA <sub>40</sub>
Resistência ao desgaste (micro-Deval) (%)	NP EN 1097-1	M <sub>DE</sub> 35	M <sub>DE</sub> 25

(a) – Como a norma NP EN 13242 não possui as categorias FI<sub>30</sub> e LA<sub>45</sub> são indicados os valores requeridos

Analisando o Quadro 10 referente à especificação LNEC E 473, a categoria de agregados reciclados “AGER3 B” foi considerada a mais conservativa em termos de requisitos geométricos e comportamento mecânico para as camadas de base e sub-base. Comparando os requisitos para estas duas camadas que constam no CEEP (Quadro 36), salienta-se o fato de que o LNEC, à semelhança do que acontece com os requisitos de aterro e leito de pavimento, não impõe nenhum limite quanto à forma das partículas, traduzida pelo índice de achatamento, por duas razões: primeiro, porque os agregados reciclados já se pressupõem



britados, e segundo porque os agregados reciclados, por serem muitas vezes compostos de materiais cerâmicos, que ao serem britados adotam uma forma achatada e alongada, possuiriam índices de achatamento demasiado altos caso o critério de aceitação desta propriedade se mantivesse.

No parâmetro de conteúdo de finos, o LNEC estabelece um limite máximo superior ao do CEEP, sendo que o LNEC admite que 9% de agregado pode passar no peneiro de 0,063 mm, enquanto o CEEP admite apenas 7%. Esta maior tolerância no conteúdo máximo de finos pode dever-se à consideração de que o atrito entre as partículas nos agregados reciclados produz mais matéria fina do que nos agregados naturais. Quanto ao valor mínimo de teor em finos, os dois documentos consideram 2%.

Na qualidade dos finos, não é possível estabelecer uma comparação correta, devido ao CEEP analisar diretamente o valor retirado do ensaio do azul-de-metileno, enquanto o LNEC impõe que se relacione esse valor com a percentagem de passado no peneiro de 2 mm.

Quanto ao comportamento mecânico, o LNEC assume 40% no valor do coeficiente de Los Angeles e 35% no valor de micro-Deval. O CEEP, na camada de base, limita o coeficiente de Los Angeles a 40% e o micro-Deval a 25%, alargando o critério na camada de sub-base, impondo 45% no coeficiente de Los Angeles e 35% no micro-Deval. Com isto, conclui-se que o LNEC assume um maior desgaste (valor micro-Deval), mas menor fragmentação (coeficiente de Los Angeles), nos agregados reciclados.

Quanto à dimensão do agregado, sobretamanho, classe da curva granulométrica e percentagem de partículas esmagadas e partidas, ambos os documentos estabelecem limites iguais, não havendo necessidade de os discutir.

### 5.3 Análise estatística dos ensaios laboratoriais

Para uma melhor compreensão da influência da composição dos agregados reciclados, observando determinadas propriedades dos mesmos, foi efetuada uma análise comparativa de alguns dados obtidos nos ensaios laboratoriais realizados na presente dissertação. A determinação da variabilidade entre os constituintes dos RCD e a sua geometria, natureza e propriedades físicas foi realizada através da análise gráfica dos dados, com o recurso a aproximações lineares de modo a encontrar padrões, mesmo tendo em conta a pouca representatividade que o reduzido número de amostras impõe. A linearidade foi representada em equações tipo “ $y = mx + b$ ” e num coeficiente de determinação “ $R^2$ ”, que se aproxima do valor 1,0 à medida que a análise estatística se torna mais exata.

Como é observado no gráfico da Figura 26, quando a percentagem de elementos cerâmicos aumenta, a percentagem de partículas com a superfície totalmente esmagada também aumenta. Isto deve-se não só à forma lamelar como os elementos cerâmicos fraturam quando são britados, como também ao fraco desgaste que as suas faces sofrem com o atrito, impedindo que estas se tornem arredondadas. A percentagem de partículas esmagadas aumenta à medida que a percentagem de elementos cerâmicos diminui, mostrando que estes são substituídos por materiais que não possuem a superfície totalmente esmagada. Apesar da pouca amostragem, fica registada a relação concluída neste trabalho entre a presença de cerâmicos e as partículas totalmente esmagadas.

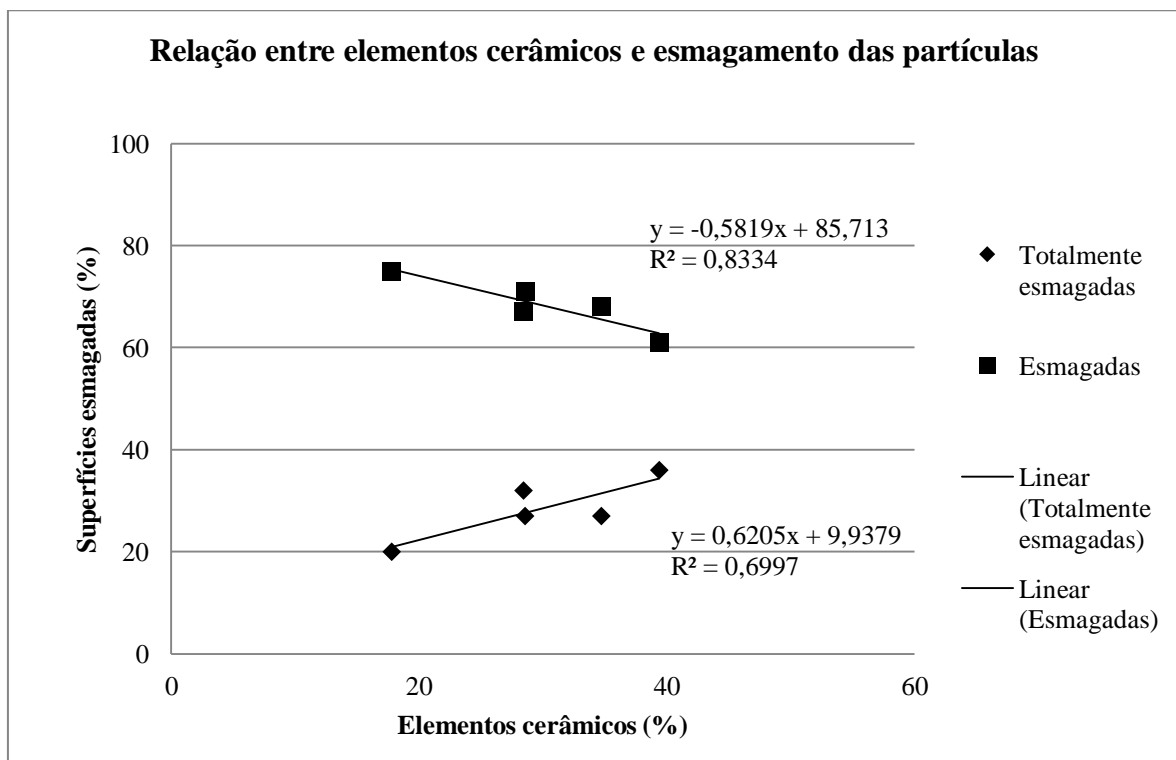


Figura 26 – Relação entre percentagem de cerâmicos e partículas esmagadas.

À semelhança do gráfico anterior, foi possível estabelecer uma relação entre a percentagem de partículas de betão e a percentagem de partículas com superfícies esmagadas (Figura 27). Verificou-se na presente dissertação que quando a percentagem de betão aumenta, a percentagem de partículas esmagadas aumenta e a percentagem de partículas totalmente esmagadas diminui. Isto mostra que, como foi referido anteriormente, o betão pode ter sido um dos materiais que substitui os elementos cerâmicos nas amostras em estudo, quando se verificou a descida da percentagem de superfícies totalmente esmagadas e a subida das esmagadas.

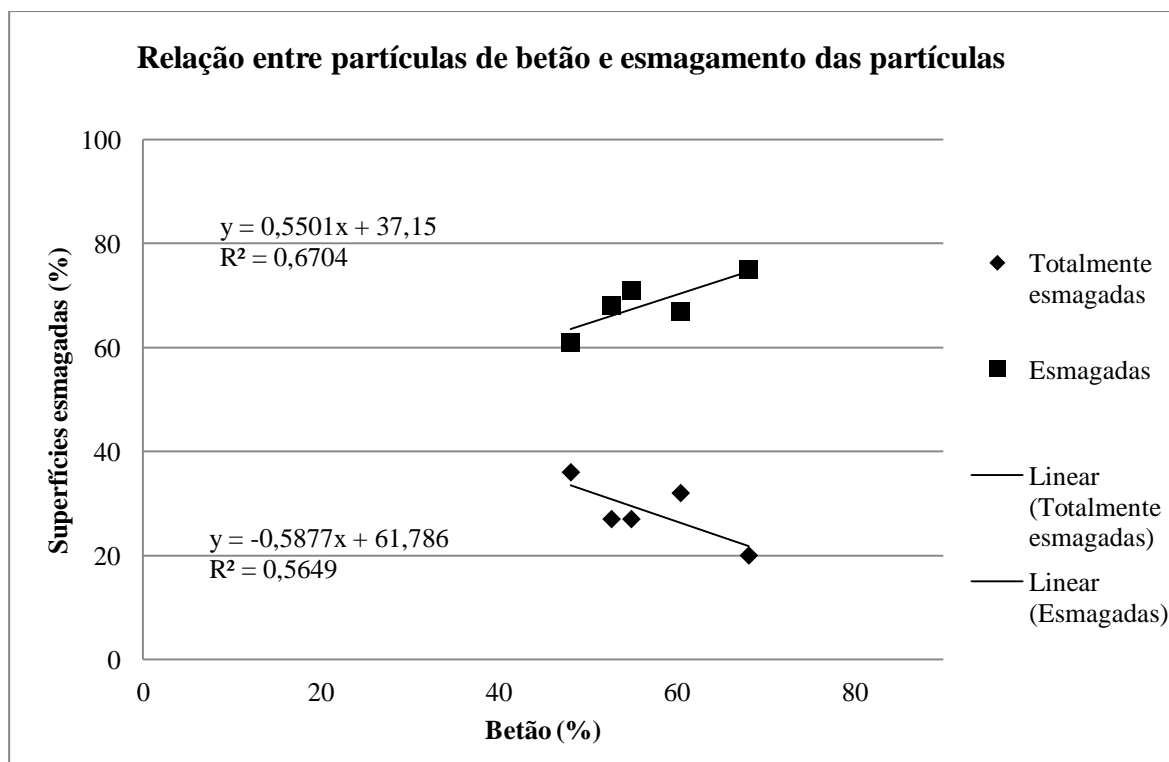


Figura 27 – Relação entre percentagem de betão e partículas esmagadas.

Apesar de teoricamente ser coerente falar de uma relação de proporção positiva entre a percentagem de pedra natural e a percentagem de partículas arredondadas e totalmente arredondadas, devido ao polimento nas faces que este material sofre naturalmente ou por britagem, tal facto não foi devidamente comprovado no gráfico da Figura 28. Embora a aproximação linear tenha ditado que a percentagem de partículas arredondadas aumenta com o aumento da percentagem de pedra natural, o coeficiente “R<sup>2</sup>” foi considerado baixo, como tal, esta estatística carece de mais dados para se tornar válida.

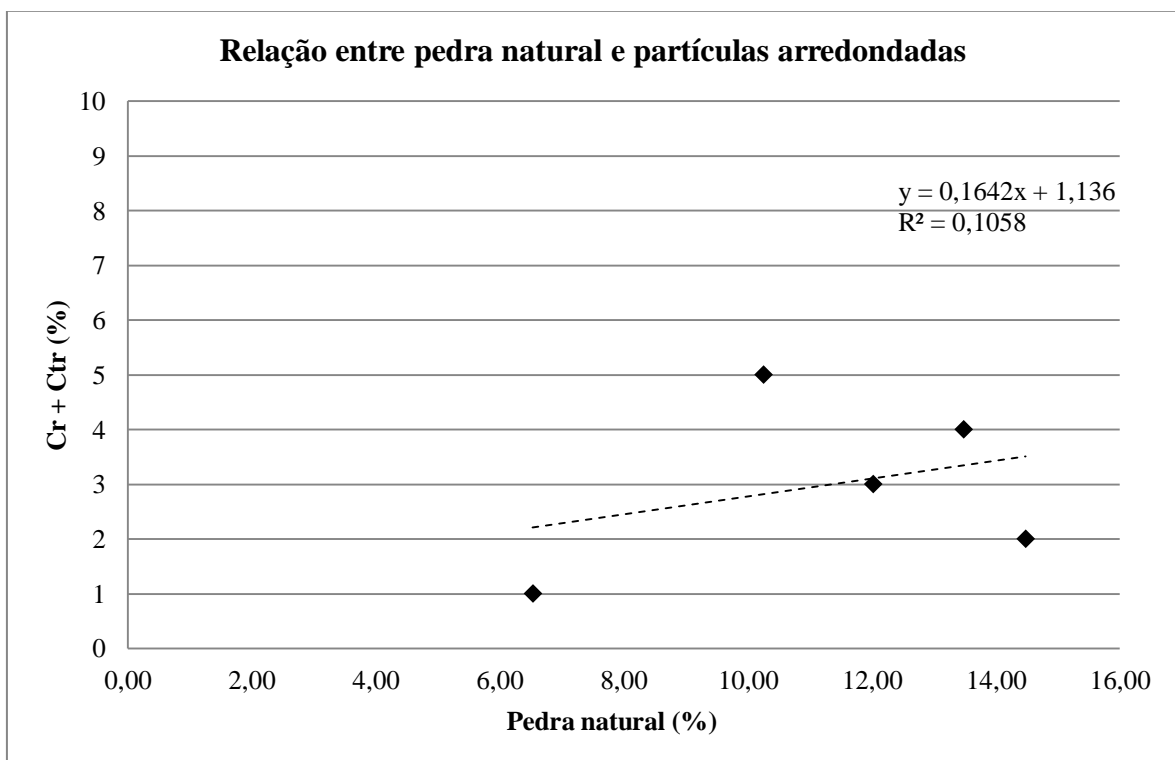


Figura 28 – Relação entre percentagem de pedra natural e partículas arredondadas.

O índice de achatamento, por ser um indicador da forma das partículas dos agregados, deveria ser estimativo da percentagem de elementos cerâmicos presentes nos mesmos, dado que, como já referido, estes materiais têm normalmente uma forma alongada e/ou achatada. Apesar da análise estatística aos dados fornecidos pelos ensaios laboratoriais revelar uma tendência neste sentido, o coeficiente de determinação mostrou-se demasiado baixo devido ao ponto anómalo, correspondente ao índice de achatamento de 29 % (Figura 29).

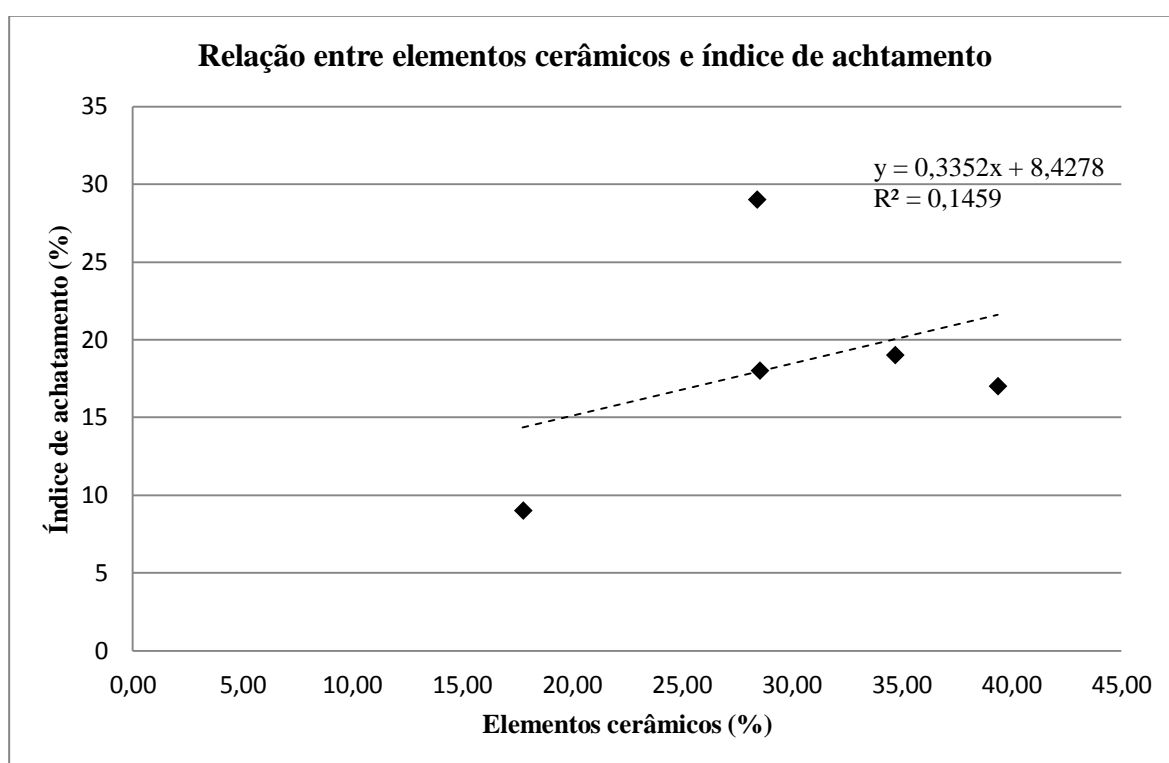


Figura 29 – Relação entre percentagem de cerâmicos e índice de achatamento.

Na Figura 30 está representada a relação entre a percentagem de pedra natural e o índice de achatamento das amostras estudadas neste trabalho. Como se pode verificar, quando a percentagem de pedra natural aumenta, o índice de achatamento baixa, pelo fato da pedra natural ser normalmente constituída por partículas arredondadas.

Assim, pode ser estabelecida uma relação entre os constituintes dos agregados reciclados e o seu índice de achatamento, tendo em conta a variação da percentagem dos constituintes que podem ter uma maior influencia neste indicador, sendo os cerâmicos os mais achatados e a pedra natural os mais arredondados.

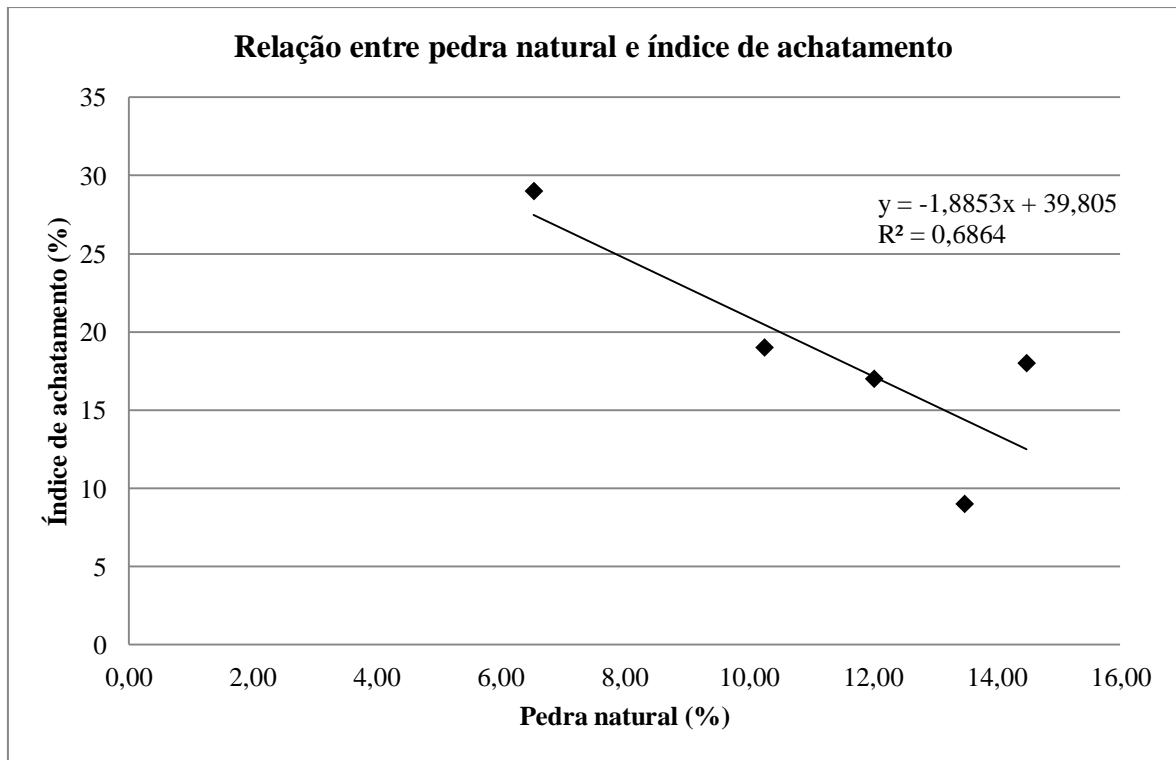


Figura 30 – Relação entre percentagem de pedra natural e índice de achatamento.

Em relação à qualidade dos finos, representada pelo valor de  $MB_{0/D}$ , esta foi relacionada com a percentagem de material passado no peneiro de 2 mm. Como mostra o gráfico da Figura 31, a qualidade dos finos não variou significativamente com o aumento da percentagem da fração fina, apesar da tendência crescente verificada no gráfico. Esta relação é de especial interesse porque se pode demonstrar que os agregados de RCD estudados eram limpos de argilas, independentemente da percentagem de material fino dos agregados.

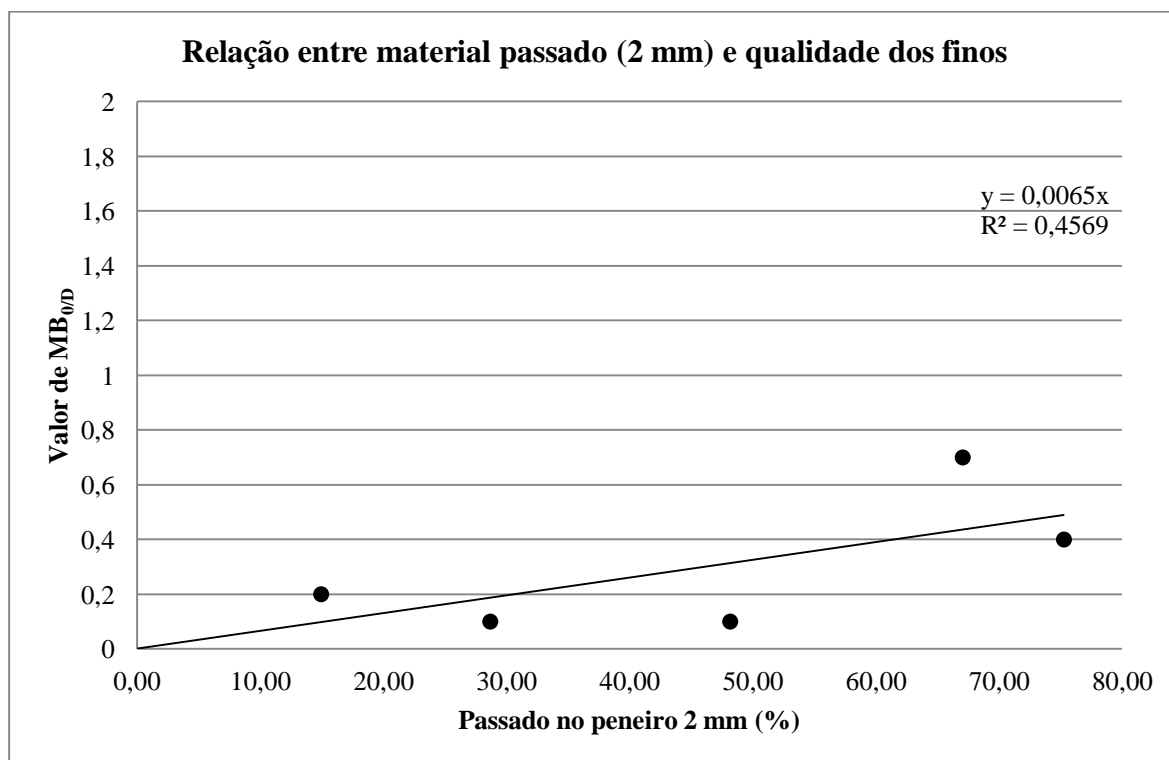


Figura 31 – Relação entre percentagem de passado (2 mm) e qualidade dos finos.



## 6 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

A reciclagem e reutilização de resíduos surge no panorama europeu dos últimos anos como um objetivo concreto, regulado por normas europeias transpostas para leis nacionais. O setor da construção civil é responsável por uma vasta percentagem da produção de resíduos, não podendo assim alhear-se da preocupação ambiental, financeira e social associadas ao tratamento e destino destes resíduos, provenientes das obras de construção e demolição, sendo assim importante considerar o enorme potencial que existe no aproveitamento e reciclagem de resíduos. Portugal tem ainda um longo caminho a percorrer nesta área, já que apenas 9% dos resíduos de construção e demolição (RCD) produzidos são reciclados, muito longe da meta europeia de 70% até 2020.

Nos capítulos iniciais da presente dissertação foi introduzido o tema dos resíduos, focando depois uma abordagem aos RCD e os seus potenciais destinos de reutilização. Foi verificado que a utilização deste tipo de resíduos em camadas não ligadas dos pavimentos rodoviários pode ser uma alternativa ao depósito de RCD em aterros. Sendo as referidas camadas não ligadas grandes consumidores de agregados granulares, esta área surge fortemente como um destino aos RCD, se estes se mostrarem viáveis com os critérios impostos por documentos normativos.

O trabalho realizado nesta dissertação teve como objetivo contribuir para o estudo da aplicabilidade de agregados reciclados provenientes de resíduos de construção e demolição nas camadas não ligadas de pavimentos rodoviários (fundação, sub-base e base granular), segundo os critérios das especificações LNEC aplicáveis ao tema (E 473 e E 474). Para tal, Foram caracterizadas laboratorialmente 7 amostras de RCD britados recolhidas no distrito de Aveiro, através de uma campanha de ensaios, essenciais à aplicação dos critérios das especificações LNEC (em termos geométricos e de natureza, dado que as características químicas e mecânicas não foram possíveis de obter por limitações laboratoriais), e ainda ensaios complementares de algumas características, como a massa volúmica e absorção de água, e comportamento de compactação (ensaio Proctor modificado).

Considerando os resultados obtidos nos ensaios efetuados, concluiu-se que, no geral, os RCD podem ser aplicados nas camadas não ligadas dos pavimentos rodoviários, desde que sejam controlados os teores de alguns constituintes e a sua granulometria. O teor em cerâmicos foi o mais condicionador, dado que nas amostras em estudo foi considerado pelas especificações LNEC como muito elevado, impedindo mesmo a classificação dos agregados de todas as amostras em estudo, devido ao não cumprimento do critério da percentagem de material cerâmico na especificação E 473, referente às camadas de sub-base e base granular.

Um dos fatores estudados, que também condicionou a classificação dos agregados, tanto nas camadas de fundação como nas camadas de sub-base e base granular, foi o teor de material flutuante e outros materiais (como estuque, madeira, etc.). Com isto, concluiu-se que, se os teores dos constituintes dos agregados reciclados forem devidamente controlados, quer na sua fonte, quer na central de tratamento de resíduos, a sua aplicabilidade em camadas não ligadas de pavimentos rodoviários pode ser acrescida. Este controlo pode ser efetuado, por exemplo, através de demolições mais específicas e ordenadas, de modo a realizar uma separação criteriosa dos materiais que posteriormente dão origem aos RCD.

Outro parâmetro que determinou a não aplicabilidade das amostras em estudo nas camadas de base e sub-base granular foi a classe de granulometria, significando que as amostras não possuíam o fuso granulométrico apropriado para a sua aplicação nas camadas não ligadas, ou seja, de acordo com a norma EN 13285, as percentagens acumuladas de material passado em determinados peneiros não se encontravam entre o intervalo de percentagens acumuladas definido na referida norma, não sendo possível enquadrar os agregados em estudo nas classes permitidas pela especificação LNEC E 473.

No caso dos agregados de origem betuminosa estudados neste trabalho, concluiu-se que podem ser usados em camadas de aterro, tendo em conta os critérios geométricos e de natureza. Porém, a especificação LNEC E 474 refere que “no caso particular de resíduos de misturas betuminosas, estes não podem conter alcatrão”. Isto deve-se à possível componente poluente que este tipo de resíduos têm, contendo elementos químicos que podem ser lixiviados e contaminar águas subterrâneas ou reagir quimicamente com outros agregados.

Em termos estatísticos, o estudo nesta dissertação produziu dados que apontam para relações entre as percentagens dos constituintes dos agregados reciclados e a forma das suas partículas, traduzida no índice de achatamento, assim como a percentagem de partículas partidas e/ou esmagadas. Porém, a baixa representatividade estatística, devido ao pequeno número de amostras estudadas, não deixam espaço para conclusões estatísticas fortes, carecendo o estudo de mais dados.

Para trabalhos futuros, sugere-se a caracterização laboratorial de um maior número de agregados reciclados, de outras fontes e/ou áreas do país, de modo a estudar estatisticamente a constituição deste tipo de materiais e a contribuir para a divulgação da potencialidade de reciclagem contida nos RCD. Sugere-se também a realização de trechos piloto de pavimentos rodoviários, cujas camadas não ligadas sejam constituídas por materiais reciclados para estudar o comportamento mecânico destes, simulando as condições “in-situ”.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almiro, I. (2012). *Aplicação de RCD na construção de estradas*. Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil. Universidade de Aveiro.
- APA. (2013). Resíduos. Retrieved from <http://www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=84>
- Barbosa, L., Almiro, I., & Benta, A. (2013). CDW Application in Portuguese Road Construction. In F. Castro, C. Vilarinho, J. Carvalho, A. Castro, J. Araújo, & A. Pedro (Eds.), *Book of Proceedings 2nd International Conference: Wastes - Solutions, Treatments, Opportunities* (pp. 97–102). Braga: CRV - Centro para a Valorização de Resíduos.
- Branco, F., Pereira, P., & Santos, L. P. (2008). *Pavimentos Rodoviários*. (Edições Almedina. SA, Ed.) (3ª Reimpre., p. 388). Coimbra.
- Brito, J. de. (2006). A reciclagem de resíduos da construção e demolição. In *Workshop “A reciclagem na casa do futuro” (AveiroDomus)*. Aveiro.
- Costa, I. C. e. (2014). *Resíduos de Construção e Demolição - fatores determinantes para a sua gestão integrada e sustentável*. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente, perfil de Gestão e Sistemas Ambientais. Universidade Nova de Lisboa.
- Estradas de Portugal. (2012). Caderno de Encargos Tipo Obra - Pavimentação - Características dos Materiais.
- European Commission. (2014a). Construction and demolition waste. Retrieved October 15, 2014, from [http://ec.europa.eu/environment/waste/construction\\_demolition.htm](http://ec.europa.eu/environment/waste/construction_demolition.htm)
- European Commission. (2014b). *Proposal for a DIRECTIVE OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL amending Directives 2008/98/EC on waste, 94/62/EC on packaging and packaging waste, 1999/31/EC on the landfill of waste, 2000/53/EC on end-of-life vehicles, 2006/66/EC on batteries and*.
- European Commission. (2014c). The Waste Incineration Directive. Retrieved October 14, 2014, from <http://ec.europa.eu/environment/archives/stationary/wid/legislation.htm>
- European Commission. (2014d). Waste Treatment Operations - Landfill. Retrieved October 14, 2014, from [http://ec.europa.eu/environment/waste/landfill\\_index.htm](http://ec.europa.eu/environment/waste/landfill_index.htm)
- Eurostat. (2014a). Generation of waste by waste category (2004-2012). Retrieved October 12, 2014, from <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/tgm/table.do?tab=table&init=1&language=en&pcode=ten00108&plugin=1>

- Eurostat. (2014b). Generation of waste by waste category and hazardousness (2012). Retrieved October 12, 2014, from <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/tgm/table.do?tab=table&plugin=1&language=en&pcode=ten00109>
- Fernandes, G., Capitão, S., & Picado-Santos, L. (2008). Utilização de resíduos de construção e demolição em pavimentos rodoviários. In *7º Congresso Rodoviário Português* (pp. 1–10). Lisboa.
- Francisco, A. (2012). *Comportamento estrutural de pavimentos rodoviários flexíveis*. Relatório Final de Projeto apresentado à Escola Superior de Tecnologia e de Gestão Instituto Politécnico de Bragança para obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Construção. Instituto Politécnico de Bragança.
- Luzia, R. C. (2008). *Camadas Não Ligadas em Pavimentos Rodoviários*. (Edições Almedina. SA, Ed.) (p. 334). Coimbra.
- Maia, I. M. C. (2012). *Caracterização de Patologias de Pavimentos Rodoviários*. Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de Mestre em Engenharia Civil - Especialização em Vias de Comunicação. Universidade do Porto.
- Mália, M. (2010). *Indicadores de resíduos de construção e demolição*. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil .Universidade Técnica de Lisboa.
- Parlamento Europeu. (2008). Diretiva n.º 2008/98/CE do Parlamento Europeu e do Conselho. *Jornal Oficial Da União Europeia*, pág.11.
- Pinto, J. I. B. R. (2003). *Caracterização Superficial de Pavimentos Rodoviários*. Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos para a obtenção do grau de Mestre em Vias de Comunicação. Universidade do Porto.
- Santos, J. (2008). *Obras Geotécnicas - Compactação (Elementos Teóricos)*. Lisboa: Instituto Superior Técnico.

## **NORMAS, ESPECIFICAÇÕES E LEGISLAÇÃO UTILIZADA**

AASHTO T 224 – “Correction for coarse particles in the soil compaction test”, revised in June, 16<sup>th</sup> of 2011.

ASTM D2487 – “Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)”.

Estradas de Portugal: “Caderno de Encargos Tipo Obra 14.01 Terraplenagens – Características dos materiais”, Fevereiro de 2009.

Estradas de Portugal: “Caderno de Encargos Tipo Obra 14.03 Pavimentação – Características dos materiais”, Janeiro de 2012.

E 197 – 1966 “Especificação LNEC: Solos – Ensaio de compactação”. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 1967.

E 471 – 2009 “Especificação LNEC: Guia para a utilização de agregados reciclados grossos em betões de ligantes hidráulicos”. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 2009.

E 472 – 2009 “Especificação LNEC: Guia para a reciclagem de misturas betuminosas em central”. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 2009.

E 473 – 2009 “Especificação LNEC: Guia para a utilização de agregados reciclados em camadas não ligadas de pavimentos”. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 2009.

E 474 – 2009 “Especificação LNEC: Guia para a utilização de materiais reciclados provenientes de resíduos de construção e demolição em aterro e camada de leito de infraestruturas de transportes”. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 2009.

EN 13242:2002 “Aggregates for unbound and hydraulically bound materials for use in civil engineering work and road construction”. Comité Européen de Normalisation, Brussels, 2002.

EN 13285:2010 “Unbound mixtures – Specifications”. Comité Européen de Normalisation, Brussels, 2010.

NP EN 933-1:1999 “Ensaio das propriedades geométricas dos agregados. Parte 1: Análise Granulométrica – Método de peneiração”. Instituto Português da Qualidade, Lisboa, 2000.

NP EN 933-2:1999 “Ensaio para determinação das características geométricas dos agregados. Parte 2: Determinação da distribuição granulométrica – Peneiros de ensaio, dimensão nominal das aberturas”. Instituto Português da Qualidade, Lisboa, 1999.

NP EN 933-3:2002 “Ensaio das propriedades geométricas dos agregados. Parte 3: Determinação da forma das partículas -Índice de achatamento”. Instituto Português da Qualidade, Lisboa, 2002.

NP EN 933-5:2002 “Ensaio das propriedades geométricas dos agregados. Parte 5: Determinação da percentagem de superfícies esmagadas e partidas nos agregados grossos”. Instituto Português da Qualidade, Lisboa, 2002.

NP EN 933-8:2002 “Ensaio das propriedades geométricas dos agregados. Parte 8: Determinação do teor de finos – Ensaio do equivalente de areia”. Instituto Português da Qualidade, Lisboa, 2002.

NP EN 933-9:2002 “Ensaio das propriedades geométricas dos agregados. Parte 8: Determinação do teor de finos – Ensaio do azul de metileno”. Instituto Português da Qualidade, Lisboa, 2002.

NP EN 933-11:2011 “Ensaio das propriedades geométricas dos agregados. Parte 11: Ensaio para classificação dos constituintes de agregados grossos reciclados”. Instituto Português da Qualidade, Lisboa, 2011.

NP EN 1097-6:2003 “Ensaio das propriedades mecânicas e físicas dos agregados. Parte 6: Determinação da massa volúmica e da absorção de água”. Instituto Português da Qualidade, Lisboa, 2003.

Decreto-Lei n.º 46/2008 (2008). Diário da República nº51, Série I (2008-03-12). Páginas 1567-1574.

Decreto-Lei n.º 73/2011 (2011). Diário da República nº116, Série I (2011-06-17). Páginas 3251-3300.

Portaria nº 209/2004 (2004). Diário da República nº53, Série I-B (2004-03-03). Páginas 1188-1206.



# ANEXOS



	<b>Universidade de Aveiro</b>		
	<b>LabCIVIL - Laboratório de Engenharia Civil</b>		

Descrição do ensaio	Análise granulométrica	Método de peneiração	
Norma de ensaio	NP EN 933 - 1:2002		
Procedimento usado	Lavagem e peneiração		
Identificação da amostra	AM 1	Data	19-03-2014
		Operador	Alexandre Outeiro

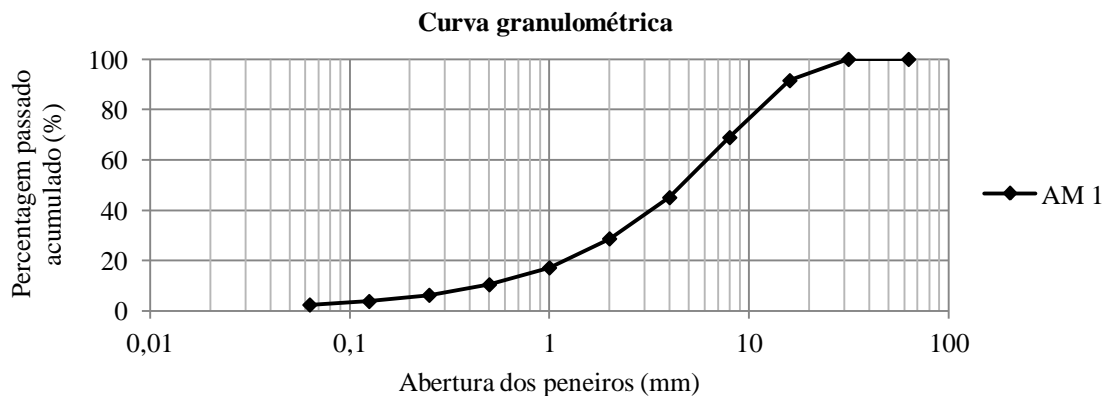
**Lavagem no peneiro de 63 µm**


Massa seca total, $M_1$	2551,00	gramas
Massa seca após lavagem, $M_2$	2491,40	gramas
Massa seca dos finos removidos por lavagem, $M_1 - M_2$	59,60	gramas

**Peneiração a seco**

Abertura dos peneiros (mm)	Massa retida ( $R_i$ ) (g)	% Retido	% Retido acumulado	% Passado acumulado
63	0,00	0,0	0,0	100,0
31,5	0,00	0,0	0,0	100,0
16	215,25	8,4	8,4	91,6
8	577,51	22,6	31,1	68,9
4	608,97	23,9	54,9	45,1
2	417,69	16,4	71,3	28,7
1	294,24	11,5	82,9	17,1
0,5	171,33	6,7	89,6	10,4
0,25	106,36	4,2	93,7	6,3
0,125	63,01	2,5	96,2	3,8
0,063	35,35	1,4	97,6	2,4
Fundo (P)	1,92	0,1	97,7	2,3
Total	2491,63			

% de finos que passa através do peneiro 0.063mm		2,41	%
Controlo de massa	$(M_2 - \sum R_i + P) / M_2$ (%)	-0,009	< 1%



	<b>Universidade de Aveiro</b>		
	<b>LabCIVIL - Laboratório de Engenharia Civil</b>		

<b>Descrição do ensaio</b>	Análise granulométrica - Método de peneiração		
<b>Norma de ensaio</b>	NP EN 933 - 1:2002		
<b>Procedimento usado</b>	Lavagem e peneiração		
<b>Identificação da amostra</b>	AM 2	<b>Data</b>	27-03-2014
		<b>Operador</b>	Alexandre Outeiro

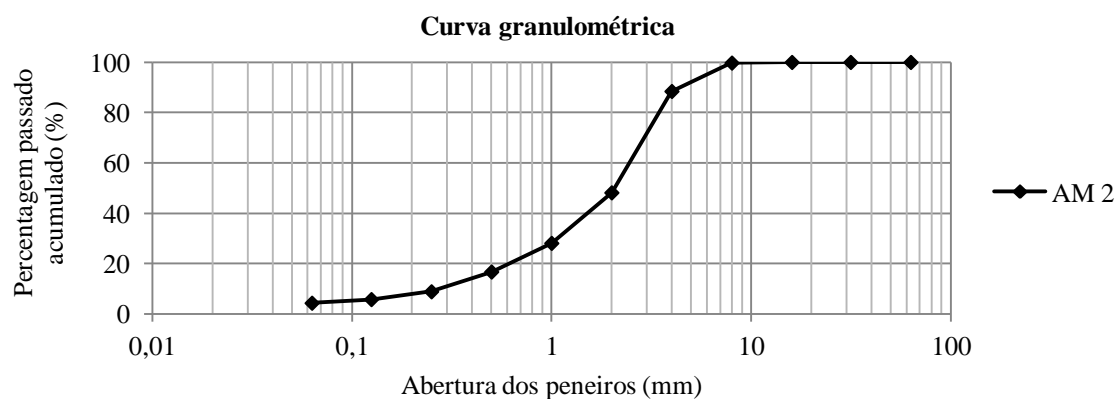
#### Lavagem no peneiro de 63 µm

Massa seca total, $M_1$	1999,11	gramas
Massa seca após lavagem, $M_2$	1916,11	gramas
Massa seca dos finos removidos por lavagem, $M_1 - M_2$	83,00	gramas

#### Peneiração a seco

Abertura dos peneiros (mm)	Massa retida ( $R_i$ ) (g)	% Retido	% Retido acumulado	% Passado acumulado
63	0,00	0,0	0,0	100,0
31,5	0,00	0,0	0,0	100,0
16	0,00	0,0	0,0	100,0
8	5,17	0,3	0,3	99,7
4	225,51	11,3	11,5	88,5
2	805,44	40,3	51,8	48,2
1	401,42	20,1	71,9	28,1
0,5	227,76	11,4	83,3	16,7
0,25	157,15	7,9	91,2	8,8
0,125	61,90	3,1	94,3	5,7
0,063	28,80	1,4	95,7	4,3
Fundo (P)	2,35	0,1	95,8	4,2
Total	1915,5			

% de finos que passa através do peneiro 0.063mm	4,27	%
Controlo de massa $(M_2 - \sum R_{i+P}) / M_2$ (%)	0,032	< 1%



	<b>Universidade de Aveiro</b>		
	<b>LabCIVIL - Laboratório de Engenharia Civil</b>		

<b>Descrição do ensaio</b>	Análise granulométrica - Método de peneiração		
<b>Norma de ensaio</b>	NP EN 933 - 1:2002		
<b>Procedimento usado</b>	Lavagem e peneiração		
<b>Identificação da amostra</b>	AM 2-B	<b>Data</b>	29-05-2014
		<b>Operador</b>	Alexandre Outeiro

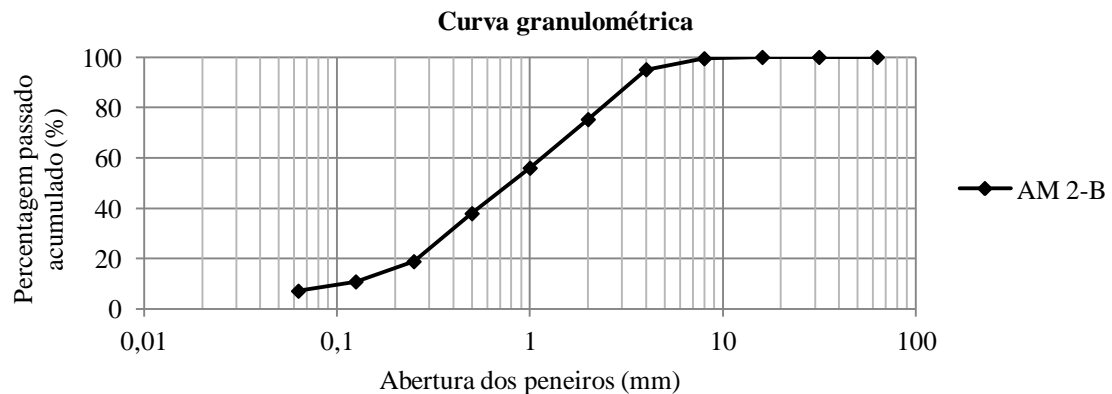
**Lavagem no peneiro de 63 µm**


Massa seca total, $M_1$	2652,00	gramas
Massa seca após lavagem, $M_2$	2465,00	gramas
Massa seca dos finos removidos por lavagem, $M_1 - M_2$	187,00	gramas

**Peneiração a seco**

Abertura dos peneiros (mm)	Massa retida ( $R_i$ ) (g)	% Retido	% Retido acumulado	% Passado acumulado
63	0,00	0,0	0,0	100,0
31,5	0,00	0,0	0,0	100,0
16	0,00	0,0	0,0	100,0
8	13,93	0,5	0,5	99,5
4	116,04	4,4	4,9	95,1
2	525,57	19,8	24,7	75,3
1	512,34	19,3	44,0	56,0
0,5	479,42	18,1	62,1	37,9
0,25	506,02	19,1	81,2	18,8
0,125	212,77	8,0	89,2	10,8
0,063	98,20	3,7	92,9	7,1
Fundo (P)	6,80	0,3	93,2	6,8
Total	2471,09			

% de finos que passa através do peneiro 0.063mm	7,31	%
Controlo de massa $(M_2 - \sum R_i + P) / M_2$ (%)	-0,247	< 1%



	<b>Universidade de Aveiro</b>		
	<b>LabCIVIL - Laboratório de Engenharia Civil</b>		

<b>Descrição do ensaio</b>	Análise granulométrica - Método de peneiração		
<b>Norma de ensaio</b>	NP EN 933 - 1:2002		
<b>Procedimento usado</b>	Lavagem e peneiração		
<b>Identificação da amostra</b>	AM 3	<b>Data</b>	15-04-2014
		<b>Operador</b>	Alexandre Outeiro

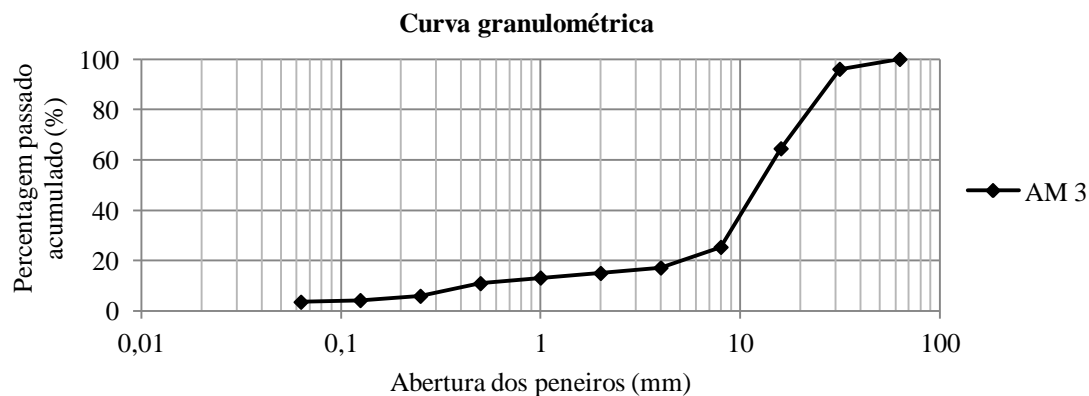
#### Lavagem no peneiro de 63 µm

Massa seca total, $M_1$	6914,96	gramas
Massa seca após lavagem, $M_2$	6665,96	gramas
Massa seca dos finos removidos por lavagem, $M_1 - M_2$	249,00	gramas

#### Peneiração a seco

Abertura dos peneiros (mm)	Massa retida ( $R_i$ ) (g)	% Retido	% Retido acumulado	% Passado acumulado
63	0,00	0,0	0,0	100,0
31,5	271,50	3,9	3,9	96,1
16	2183,91	31,6	35,5	64,5
8	2709,51	39,2	74,7	25,3
4	567,56	8,2	82,9	17,1
2	149,35	2,2	85,1	14,9
1	126,77	1,8	86,9	13,1
0,5	153,69	2,2	89,1	10,9
0,25	348,10	5,0	94,1	5,9
0,125	116,32	1,7	95,8	4,2
0,063	46,13	0,7	96,5	3,5
Fundo (P)	10,39	0,2	96,6	3,4
Total	6683,23			

% de finos que passa através do peneiro 0.063mm	3,75	%
Controlo de massa $(M_2 - \sum R_{i+P}) / M_2$ (%)	-0,259	< 1%



	<b>Universidade de Aveiro</b>		
	<b>LabCIVIL - Laboratório de Engenharia Civil</b>		

<b>Descrição do ensaio</b>	Análise granulométrica - Método de peneiração		
<b>Norma de ensaio</b>	NP EN 933 - 1:2002		
<b>Procedimento usado</b>	Lavagem e peneiração		
<b>Identificação da amostra</b>	AM 3-B	<b>Data</b>	04-06-2014
		<b>Operador</b>	Alexandre Outeiro

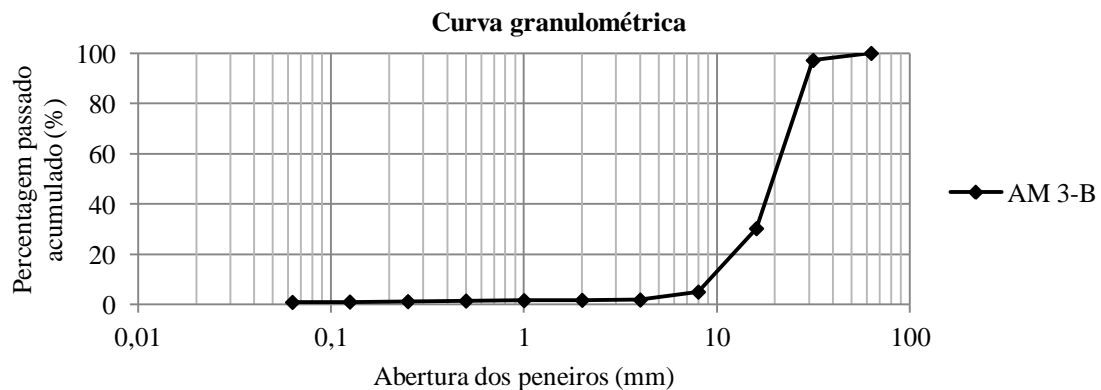
**Lavagem no peneiro de 63 µm**


Massa seca total, $M_1$	7173,00	gramas
Massa seca após lavagem, $M_2$	7110,00	gramas
Massa seca dos finos removidos por lavagem, $M_1 - M_2$	63,00	gramas

**Peneiração a seco**

Abertura dos peneiros (mm)	Massa retida ( $R_i$ ) (g)	% Retido	% Retido acumulado	% Passado acumulado
63	0,00	0,0	0,0	100,0
31,5	199,30	2,8	2,8	97,2
16	4801,00	66,9	69,7	30,3
8	1809,10	25,2	94,9	5,1
4	225,50	3,1	98,1	1,9
2	8,80	0,1	98,2	1,8
1	8,90	0,1	98,3	1,7
0,5	11,20	0,2	98,5	1,5
0,25	18,10	0,3	98,7	1,3
0,125	11,40	0,2	98,9	1,1
0,063	10,30	0,1	99,0	1,0
Fundo (P)	4,80	0,1	99,1	0,9
Total	7108,40			

% de finos que passa através do peneiro 0.063mm	0,95	%
Controlo de massa $(M_2 - \sum R_i + P) / M_2$ (%)	0,023	< 1%



	<b>Universidade de Aveiro</b>		
	<b>LabCIVIL - Laboratório de Engenharia Civil</b>		

<b>Descrição do ensaio</b>	Análise granulométrica - Método de peneiração		
<b>Norma de ensaio</b>	NP EN 933 - 1:2002		
<b>Procedimento usado</b>	Lavagem e peneiração		
<b>Identificação da amostra</b>	AM 4	<b>Data</b>	02-05-2014
		<b>Operador</b>	Alexandre Outeiro

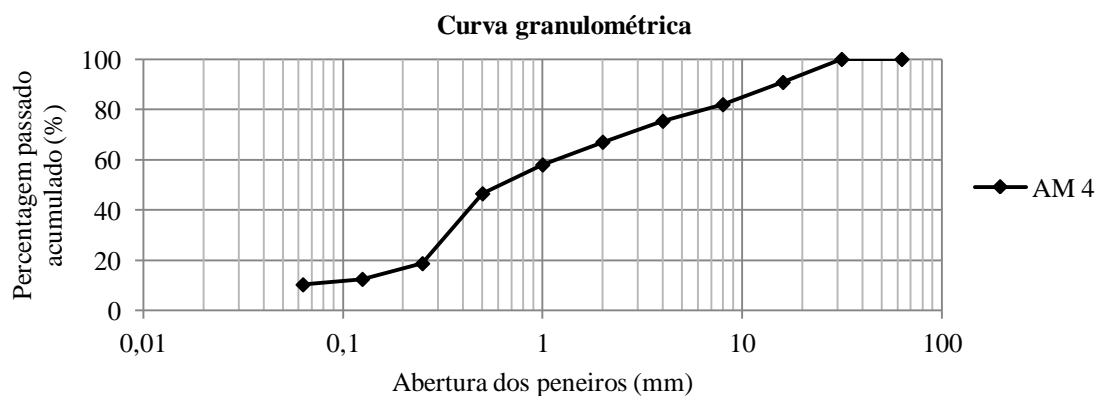
#### Lavagem no peneiro de 63 µm

Massa seca total, $M_1$	9084,00	gramas
Massa seca após lavagem, $M_2$	8166,00	gramas
Massa seca dos finos removidos por lavagem, $M_1 - M_2$	918,00	gramas

#### Peneiração a seco

Abertura dos peneiros (mm)	Massa retida ( $R_i$ ) (g)	% Retido	% Retido acumulado	% Passado acumulado
63	0,00	0,0	0,0	100,0
31,5	0,00	0,0	0,0	100,0
16	831,93	9,2	9,2	90,8
8	803,14	8,8	18,0	82,0
4	599,78	6,6	24,6	75,4
2	757,59	8,3	32,9	67,1
1	820,78	9,0	42,0	58,0
0,5	1042,04	11,5	53,4	46,6
0,25	2524,96	27,8	81,2	18,8
0,125	566,44	6,2	87,5	12,5
0,063	196,47	2,2	89,6	10,4
Fundo (P)	20,80	0,2	89,9	10,1
Total	8163,93			

% de finos que passa através do peneiro 0.063mm	10,33	%
Controlo de massa $(M_2 - \sum R_{i+P}) / M_2$ (%)	0,025	< 1%





	<b>Universidade de Aveiro</b>		
	<b>LabCIVIL - Laboratório de Engenharia Civil</b>		

<b>Descrição do ensaio</b>	Análise granulométrica - Método de peneiração		
<b>Norma de ensaio</b>	NP EN 933 - 1:2002		
<b>Procedimento usado</b>	Lavagem e peneiração		
<b>Identificação da amostra</b>	AM 5	<b>Data</b>	30-04-2014
		<b>Operador</b>	Alexandre Outeiro

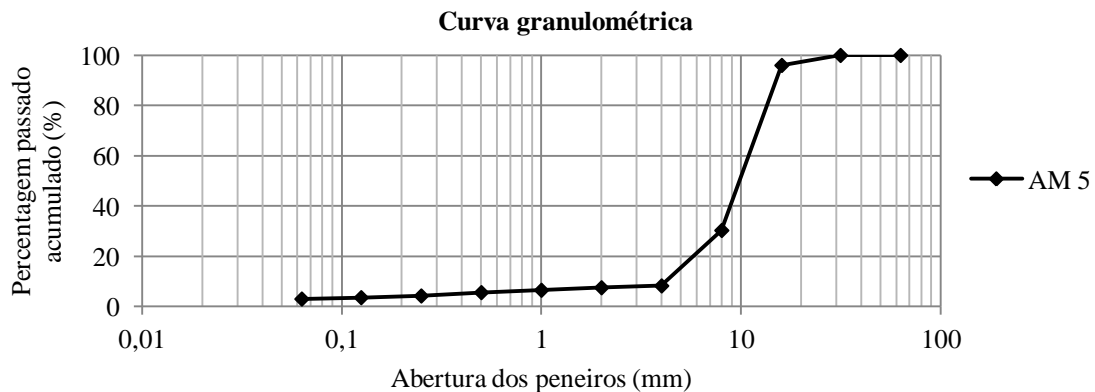
**Lavagem no peneiro de 63 µm**

Massa seca total, $M_1$	4052,00	gramas
Massa seca após lavagem, $M_2$	3972,00	gramas
Massa seca dos finos removidos por lavagem, $M_1 - M_2$	80,00	gramas


**Peneiração a seco**

Abertura dos peneiros (mm)	Massa retida ( $R_i$ ) (g)	% Retido	% Retido acumulado	% Passado acumulado
63	0,00	0,0	0,0	100,0
31,5	0,00	0,0	0,0	100,0
16	160,60	4,0	4,0	96,0
8	2660,59	65,7	69,6	30,4
4	893,34	22,0	91,7	8,3
2	29,52	0,7	92,4	7,6
1	40,65	1,0	93,4	6,6
0,5	37,84	0,9	94,3	5,7
0,25	54,15	1,3	95,7	4,3
0,125	26,79	0,7	96,3	3,7
0,063	22,59	0,6	96,9	3,1
Fundo (P)	8,12	0,2	97,1	2,9
Total	3934,19			

% de finos que passa através do peneiro 0.063mm		2,17	%
Controlo de massa	$(M_2 - \sum R_i + P) / M_2$ (%)	0,952	< 1%





	<b>Universidade de Aveiro</b>
	<b>LabCIVIL - Laboratório de Engenharia Civil</b>


Descrição do ensaio	Determinação do teor de finos	Equivalente de areia	
Norma de ensaio	NP EN 933 - 8:2002		
Identificação da amostra	AM 1	Data	18-03-2014
		Operador	Alexandre Outeiro

	Provete elementar	Massa (g)	$h_1$ (mm)	$h_2$ (mm)	$h_{2 \text{ corrig}}$ (mm)	SE
1º ensaio	1	120,04	114	135	85	75
	2	120,05	115	137	87	76
2º ensaio	1	120,07	120	148	98	82
	2	120,06	118	147	97	82

<b>MÉDIA</b>	79
--------------	----

<b>Descrição do ensaio</b>	Determinação do teor de finos – Azul de metileno		
<b>Norma de ensaio</b>	NP EN 933 - 9:2002		
<b>Identificação da amostra</b>	AM 1	<b>Data</b>	18-03-2014
		<b>Operador</b>	Alexandre Outeiro

Massa seca ( $M_1$ )	200,07	gramas
Sol. corante adicionada ( $V_1$ )	5	mililitros
Valor MB	0,2	g/kg

	<b>Universidade de Aveiro</b>
	<b>LabCIVIL - Laboratório de Engenharia Civil</b>

<b>Descrição do ensaio</b>	Determinação do teor de finos – Equivalente de areia		
<b>Norma de ensaio</b>	NP EN 933 - 8:2002		
<b>Identificação da amostra</b>	AM 2	<b>Data</b>	28-03-2014
		<b>Operador</b>	Alexandre Outeiro

	Provette elementar	Massa (g)	$h_1$ (mm)	$h_2$ (mm)	$h_{2 \text{ corrig}}$ (mm)	SE
1º ensaio	1	120,02	134	152	102	76
	2	120,02	127	149	99	78
2º ensaio	1	120,00	119	148	98	82
	2	120,00	120	150	100	83

<b>MÉDIA</b>	80
--------------	----

<b>Descrição do ensaio</b>	Determinação do teor de finos – Azul de metileno		
<b>Norma de ensaio</b>	NP EN 933 - 9:2002		
<b>Identificação da amostra</b>	AM 2	<b>Data</b>	28-03-2014
		<b>Operador</b>	Alexandre Outeiro

Massa seca ( $M_1$ )	200,02	gramas
Sol. corante adicionada ( $V_1$ )	5	mililitros
Valor MB	0,2	g/kg

	<b>Universidade de Aveiro</b>
	<b>LabCIVIL - Laboratório de Engenharia Civil</b>

<b>Descrição do ensaio</b>	Determinação do teor de finos – Equivalente de areia		
<b>Norma de ensaio</b>	NP EN 933 - 8:2002		
<b>Identificação da amostra</b>	AM 2-B	<b>Data</b>	06-06-2014
		<b>Operador</b>	Alexandre Outeiro

	Provetes elementares	Massa (g)	$h_1$ (mm)	$h_2$ (mm)	$h_{2 \text{ corrig}}$ (mm)	SE
1º ensaio	1	120,19	135	149	99	73
	2	120,23	136	149	99	73

MÉDIA	73
-------	----

<b>Descrição do ensaio</b>	Determinação do teor de finos – Azul de metileno		
<b>Norma de ensaio</b>	NP EN 933 - 9:2002		
<b>Identificação da amostra</b>	AM 2-B	<b>Data</b>	28-03-2014
		<b>Operador</b>	Alexandre Outeiro

Massa seca ( $M_1$ )	200,24	gramas
Sol. corante adicionada ( $V_1$ )	10	mililitros
Valor MB	0,5	g/kg


	<b>Universidade de Aveiro</b>
	<b>LabCIVIL - Laboratório de Engenharia Civil</b>

<b>Descrição do ensaio</b>		Determinação do teor de finos – Equivalente de areia				
<b>Norma de ensaio</b>		NP EN 933 - 8:2002				
<b>Identificação da amostra</b>	AM 3	<b>Data</b>				
		<b>Operador</b>		Alexandre Outeiro		
	Provetes elementares	Massa (g)	$h_1$ (mm)	$h_2$ (mm)	$h_{2 \text{ corrig}}$ (mm)	SE
1º ensaio	1	120,00	133	136	86	65
	2	120,00	134	140	90	67
2º ensaio	1	120,00	140	139	89	64
	2	120,00	136	139	89	65

<b>MÉDIA</b>	65
--------------	----

<b>Descrição do ensaio</b>		Determinação do teor de finos – Azul de metileno		
<b>Norma de ensaio</b>		NP EN 933 - 9:2002		
<b>Identificação da amostra</b>	AM 3	<b>Data</b>		
		<b>Operador</b>		Alexandre Outeiro

Massa seca ( $M_1$ )	200,11	gramas
Sol. corante adicionada ( $V_1$ )	25	mililitros
Valor MB	1,2	g/kg

	<b>Universidade de Aveiro</b>
	<b>LabCIVIL - Laboratório de Engenharia Civil</b>

<b>Descrição do ensaio</b>	Determinação do teor de finos – Equivalente de areia		
<b>Norma de ensaio</b>	NP EN 933 - 8:2002		
<b>Identificação da amostra</b>	AM 4	<b>Data</b>	09-05-2014
		<b>Operador</b>	Alexandre Outeiro

	Provetes elementares	Massa (g)	$h_1$ (mm)	$h_2$ (mm)	$h_{2 \text{ corrig}}$ (mm)	SE
1º ensaio	1	120,00	158	137	87	55
	2	120,00	144	135	85	59
2º ensaio	1	120,00	143	137	87	61
	2	120,00	142	138	88	62

<b>MÉDIA</b>	59
--------------	----

<b>Descrição do ensaio</b>	Determinação do teor de finos – Azul de metileno		
<b>Norma de ensaio</b>	NP EN 933 - 9:2002		
<b>Identificação da amostra</b>	AM 4	<b>Data</b>	08-05-2014
		<b>Operador</b>	Alexandre Outeiro

Massa seca ( $M_1$ )	200,14	gramas
Sol. corante adicionada ( $V_1$ )	22	mililitros
Valor MB	1,1	g/kg





	<b>Universidade de Aveiro</b>
	<b>LabCIVIL - Laboratório de Engenharia Civil</b>

<b>Descrição do ensaio</b>	Classificação de agregados grossos reciclados		
<b>Norma de ensaio</b>	NP EN 933 - 11:2011		
<b>Identificação da amostra</b>	AM 2	<b>Data</b>	03-07-2014
		<b>Operador</b>	Alexandre Outeiro

Temperatura. secagem	T	105,0	°C
Massa inicial seca	M <sub>0</sub>	6226,8	gramas
Retido no 63 mm	M <sub>63mm</sub>	0,0	
Passado no 4 mm	M <sub>4mm</sub>	5232,0	
Massa do provete	M <sub>1</sub>	994,7	
Remanescente não flutuante	M <sub>2</sub>	994,7	
Remanescente não flutuante reduzida	M <sub>3</sub>	994,7	

Constituinte	Volume, cm3	Proporção, cm3/kg
FL	1	1,01

Constituinte	Massas, gramas	Proporção, %
X	0,0	0,00
R <sub>c</sub>	677,1	68,07
R <sub>u</sub>	134,1	13,48
R <sub>b</sub>	176,7	17,76
R <sub>a</sub>	6,4	0,64
R <sub>g</sub>	0,3	0,03

Σ P	99,99
-----	-------

	<b>Universidade de Aveiro</b>
	<b>LabCIVIL - Laboratório de Engenharia Civil</b>

<b>Descrição do ensaio</b>	Classificação de agregados grossos reciclados		
<b>Norma de ensaio</b>	NP EN 933 - 11:2011		
<b>Identificação da amostra</b>	AM 2-B	<b>Data</b>	13-07-2014
		<b>Operador</b>	Alexandre Outeiro

Temperatura. secagem	T	105	°C
Massa inicial seca	M <sub>0</sub>	24058	gramas
Retido no 63 mm	M <sub>63mm</sub>	0	
Passado no 4 mm	M <sub>4mm</sub>	22986	
Massa do provete	M <sub>1</sub>	1071	
Remanescente não flutuante	M <sub>2</sub>	1062	
Remanescente não flutuante reduzida	M <sub>3</sub>	1062	

Constituinte	Volume, cm3	Proporção, cm3/kg
FL	2	1,87

Constituinte	Massas, gramas	Proporção, %
X	8,4	0,78
R <sub>c</sub>	587,6	54,86
R <sub>u</sub>	155,1	14,48
R <sub>b</sub>	305,6	28,53
R <sub>a</sub>	12,7	1,19
R <sub>g</sub>	0,9	0,08

$\Sigma P$	99,93
------------	-------

	<b>Universidade de Aveiro</b>
	<b>LabCIVIL - Laboratório de Engenharia Civil</b>

<b>Descrição do ensaio</b>	Classificação de agregados grossos reciclados		
<b>Norma de ensaio</b>	NP EN 933 - 11:2011		
<b>Identificação da amostra</b>	AM 3-B	<b>Data</b>	24-07-2014
		<b>Operador</b>	Alexandre Outeiro

Temperatura. secagem	T	105	°C
Massa inicial seca	M <sub>0</sub>	17280	gramas
Retido no 63 mm	M <sub>63mm</sub>	0	
Passado no 4 mm	M <sub>4mm</sub>	405	
Massa do provete	M <sub>1</sub>	16875	
Remanescente não flutuante	M <sub>2</sub>	16235	
Remanescente não flutuante reduzida	M <sub>3</sub>	16235	

Constituinte	Volume, cm3	Proporção, cm3/kg
FL	90	5,33

Constituinte	Massas, gramas	Proporção, %
X	639	3,8
R <sub>c</sub>	10194	60,4
R <sub>u</sub>	1102	6,5
R <sub>b</sub>	4794	28,4
R <sub>a</sub>	90	0,5
R <sub>g</sub>	23	0,1

Σ P	99,8
-----	------

	<b>Universidade de Aveiro</b>
	<b>LabCIVIL - Laboratório de Engenharia Civil</b>

<b>Descrição do ensaio</b>	Classificação de agregados grossos reciclados		
<b>Norma de ensaio</b>	NP EN 933 - 11:2011		
<b>Identificação da amostra</b>	AM 4	<b>Data</b>	05-08-2014
		<b>Operador</b>	Alexandre Outeiro

Temperatura. secagem	T	105	°C
Massa inicial seca	M <sub>0</sub>	12388	gramas
Retido no 63 mm	M <sub>63mm</sub>	0	
Passado no 4 mm	M <sub>4mm</sub>	9163	
Massa do provete	M <sub>1</sub>	3220	
Remanescente não flutuante	M <sub>2</sub>	3204	
Remanescente não flutuante reduzida	M <sub>3</sub>	3204	

Constituinte	Volume, cm3	Proporção, cm3/kg
FL	31	9,63

Constituinte	Massas, gramas	Proporção, %
X	14,4	0,45
R <sub>c</sub>	1695,0	52,64
R <sub>u</sub>	330,1	10,25
R <sub>b</sub>	1117,1	34,69
R <sub>a</sub>	15,6	0,48
R <sub>g</sub>	2,9	0,09

Σ P	98,61
-----	-------

	<b>Universidade de Aveiro</b>
	<b>LabCIVIL - Laboratório de Engenharia Civil</b>

<b>Descrição do ensaio</b>	Classificação de agregados grossos reciclados		
<b>Norma de ensaio</b>	NP EN 933 - 11:2011		
<b>Identificação da amostra</b>	AM 5	<b>Data</b>	12-08-2014
		<b>Operador</b>	Alexandre Outeiro

Temperatura. secagem	T	105	°C
Massa inicial seca	M <sub>0</sub>	4506	gramas
Retido no 63 mm	M <sub>63mm</sub>	0	
Passado no 4 mm	M <sub>4mm</sub>	330	
Massa do provete	M <sub>1</sub>	4176	
Remanescente não flutuante	M <sub>2</sub>	4167	
Remanescente não flutuante reduzida	M <sub>3</sub>	4167	

Constituinte	Volume, cm3	Proporção, cm3/kg
FL	11	2,63

Constituinte	Massas, gramas	Proporção, %
X	8,0	0,2
R <sub>c</sub>	2007,0	48,1
R <sub>u</sub>	502,0	12,0
R <sub>b</sub>	1644,0	39,4
R <sub>a</sub>	0,0	0,0
R <sub>g</sub>	5,0	0,1

Σ P	99,8
-----	------



	<b>Universidade de Aveiro</b>
	<b>LabCIVIL - Laboratório de Engenharia Civil</b>

<b>Descrição do ensaio</b>	Percentagem de superfícies esmagadas e partidas		
<b>Norma de ensaio</b>	NP EN 933 - 5:2002		
<b>Identificação da amostra</b>	AM 2	<b>Data</b>	24-09-2014
		<b>Operador</b>	Alexandre Outeiro

$M_0$ (g)	1044,8	$M_{63\text{mm}}$ (g)	0,0
$M_1$ (g)	157,2	$M_{4\text{mm}}$ (g)	886,8
		$\Sigma$ rejeitado	886,8

		Verificação	$M_c$	$M_{tc}$	$M_r$	$M_{tr}$
$M_{31,5}$	0,0	0	-	-	-	-
$M_{16}$	0,0	0	-	-	-	-
$M_8$	4,2	3	-	-	-	-
$M_4$	152,9	97	114,8	31,3	4,7	2,0
$\Sigma$	157,1	-	114,8	31,3	4,7	2,0

$C_c$	$C_{tc}$	$C_r$	$C_{tr}$
75	20	3	1

	<b>Universidade de Aveiro</b>
	<b>LabCIVIL - Laboratório de Engenharia Civil</b>

<b>Descrição do ensaio</b>	Percentagem de superfícies esmagadas e partidas		
<b>Norma de ensaio</b>	NP EN 933 - 5:2002		
<b>Identificação da amostra</b>	AM 2-B	<b>Data</b>	22-09-2014
		<b>Operador</b>	Alexandre Outeiro

$M_0$ (g)	2707,4	$M_{63\text{mm}}$ (g)	0,0
$M_1$ (g)	150,1	$M_{4\text{mm}}$ (g)	2562,4
		$\Sigma$ rejeitado	2562,4

		Verificação	$M_c$	$M_{tc}$	$M_r$	$M_{tr}$
$M_{31,5}$	0,0	0	-	-	-	-
$M_{16}$	0,0	0	-	-	-	-
$M_8$	6,0	4	-	-	-	-
$M_4$	144,1	96	102,4	38,6	0,9	1,9
$\Sigma$	150,1	-	102,4	38,6	0,9	1,9

$C_c$	$C_{tc}$	$C_r$	$C_{tr}$
71	27	1	1



	<b>Universidade de Aveiro</b>
	<b>LabCIVIL - Laboratório de Engenharia Civil</b>

<b>Descrição do ensaio</b>	Percentagem de superfícies esmagadas e partidas		
<b>Norma de ensaio</b>	NP EN 933 - 5:2002		
<b>Identificação da amostra</b>	AM 3-B	<b>Data</b>	23-09-2014
		<b>Operador</b>	Alexandre Outeiro

$M_0$ (g)	16225,0	$M_{63\text{mm}}$ (g)	0,0
$M_1$ (g)	16129,6	$M_{4\text{mm}}$ (g)	95,3
		$\Sigma$ rejeitado	95,3

		Verificação	$M_c$	$M_{tc}$	$M_r$	$M_{tr}$
$M_{31,5}$	777,4	5	-	-	-	-
$M_{16}$	10425,6	65	7195,4	3164,9	63,0	0,0
$M_8$	4397,0	27	2793,3	1556,4	16,7	29,2
$M_4$	528,8	3	-	-	-	-
$\Sigma$	16128,8	-	9988,7	4721,3	79,7	29,2

$C_c$	$C_{tc}$	$C_r$	$C_{tr}$
67	32	1	0


	<b>Universidade de Aveiro</b>
	<b>LabCIVIL - Laboratório de Engenharia Civil</b>

<b>Descrição do ensaio</b>	Percentagem de superfícies esmagadas e partidas		
<b>Norma de ensaio</b>	NP EN 933 - 5:2002		
<b>Identificação da amostra</b>	AM 4	<b>Data</b>	25-09-2014
		<b>Operador</b>	Alexandre Outeiro

$M_0$ (g)	12193,0	$M_{63\text{mm}}$ (g)	0,0
$M_1$ (g)	3106,0	$M_{4\text{mm}}$ (g)	9087,0
		$\Sigma$ rejeitado	9087,0

		Verificação	$M_c$	$M_{tc}$	$M_r$	$M_{tr}$
$M_{31,5}$	208,3	7	-	-	-	-
$M_{16}$	1231,4	40	855,3	351,8	23,5	0,0
$M_8$	795,5	26	543,0	219,8	8,7	23,6
$M_4$	870,4	28	564,6	204,1	8,9	91,3
$\Sigma$	3105,6	-	1962,9	775,7	41,1	114,9

$C_c$	$C_{tc}$	$C_r$	$C_{tr}$
68	27	1	4

	<b>Universidade de Aveiro</b>
	<b>LabCIVIL - Laboratório de Engenharia Civil</b>


<b>Descrição do ensaio</b>	Percentagem de superfícies esmagadas e partidas		
<b>Norma de ensaio</b>	NP EN 933 - 5:2002		
<b>Identificação da amostra</b>	AM 5	<b>Data</b>	22-09-2014
		<b>Operador</b>	Alexandre Outeiro

$M_0$ (g)	2718,3	$M_{63\text{mm}}$ (g)	0,0
$M_1$ (g)	2468,3	$M_{4\text{mm}}$ (g)	249,8
		$\Sigma$ rejeitado	249,8

		Verificação	$M_c$	$M_{tc}$	$M_r$	$M_{tr}$
$M_{31,5}$	0,0	0	-	-	-	-
$M_{16}$	106,7	4	-	-	-	-
$M_8$	1820,6	74	1097,1	663,9	44,2	15,2
$M_4$	539,9	22	344,5	182,3	9,0	3,5
$\Sigma$	2467,2	-	1441,6	846,2	53,2	18,7

$C_c$	$C_{tc}$	$C_r$	$C_{tr}$
61	36	2	1



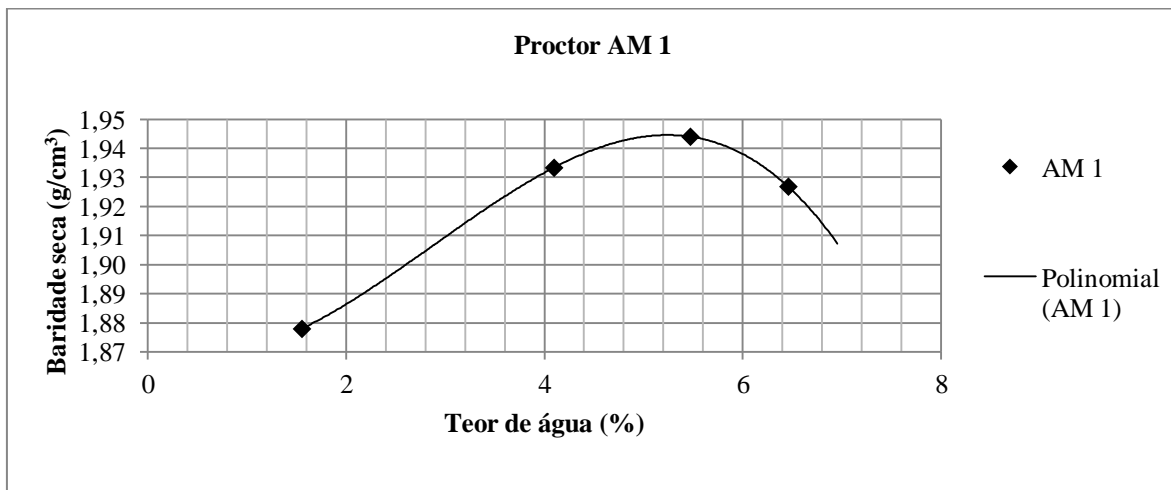
	<b>Universidade de Aveiro</b>
	<b>LabCIVIL - Laboratório de Engenharia Civil</b>

<b>Descrição do ensaio</b>	Ensaio de compactação (Proctor Modificado)		
<b>Norma de ensaio</b>	LNEC E 197 - 1966		
<b>Identificação da amostra</b>	AM 1	<b>Data</b>	19-03-2014
		<b>Operador</b>	Alexandre Outeiro

Toma de amostra	5000	g
Resíduo ao peneiro 4,76 mm	2480	g
Resíduo ao peneiro 4,76 mm	49,6	%
Resíduo ao peneiro 19 mm	420	g
Resíduo ao peneiro 19 mm	8,4	%

Molde grande		
Peso	5077,00	g
Volume	2087,00	cm <sup>3</sup>

Massa amostra (g)	5200,00	5200,00	5200,00	5200,00	5200,00
Teor em água (%)	2	4	6	8	10
Teor em água (ml)	104	208	312	416	520
Massa molde + Solo húmido (g)	9057	9135	9277	9356	9358
Nº da cápsula	1	2	3	4	5
Massa da cápsula (g)	161,10	160,73	163,25	161,39	162,88
Massa cápsula + Solo húmido (g)	1048	910	1017	1022	1055
Massa cápsula + Solo seco (g)	1032	896	977	969	991
Massa provete (g)	3980,00	4058,00	4200,00	4279,00	4281,00
Baridade húmida (g/cm <sup>3</sup> )	1,91	1,944	2,012	2,050	2,051
Absorção de água (%)	1,55	1,56	4,09	5,47	6,46
Baridade seca (g/cm <sup>3</sup> )	1,88	1,915	1,933	1,944	1,927



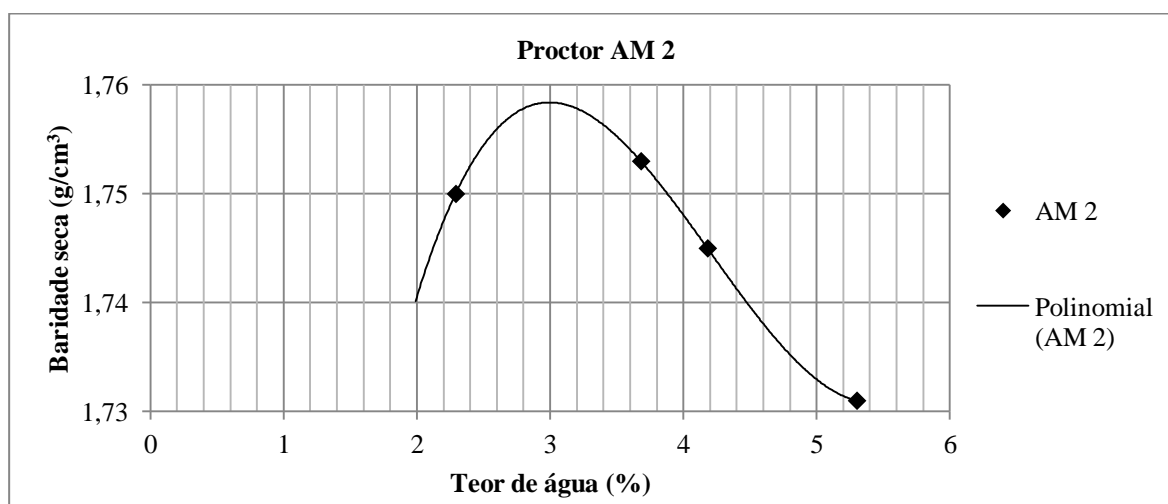
	<b>Universidade de Aveiro</b>
	<b>LabCIVIL - Laboratório de Engenharia Civil</b>


<b>Descrição do ensaio</b>	Ensaio de compactação (Proctor Modificado)		
<b>Norma de ensaio</b>	LNEC E 197 - 1966		
<b>Identificação da amostra</b>	AM 2	<b>Data</b>	20-05-2014
		<b>Operador</b>	Alexandre Outeiro

Toma de amostra	-	g
Resíduo ao peneiro 4,76 mm	-	g
Resíduo ao peneiro 4,76 mm	< 20	%
Resíduo ao peneiro 19 mm	-	g
Resíduo ao peneiro 19 mm	-	%

Molde pequeno		
Peso	3361,00	g
Volume	955,56	cm <sup>3</sup>

Massa amostra (g)	2500,00	2500,00	2500,00	2500,00
Teor em água (%)	3	5	6	10
Teor em água (ml)	75	125	150	250
Massa molde + Solo húmido (g)	5071	5098	5098	5103
Nº da cápsula	2	4	5	8
Massa da cápsula (g)	211,30	207,30	291,28	205,10
Massa cápsula + Solo húmido (g)	684,6	693,0	792,6	485,1
Massa cápsula + Solo seco (g)	669,3	668,4	760,8	460,7
Massa provete (g)	1710,00	1737,00	1737,00	1742,00
Baridade húmida (g/cm <sup>3</sup> )	1,79	1,82	1,82	1,82
Absorção de água (%)	2,29	3,68	4,18	5,30
Baridade seca (g/cm <sup>3</sup> )	1,750	1,753	1,745	1,731



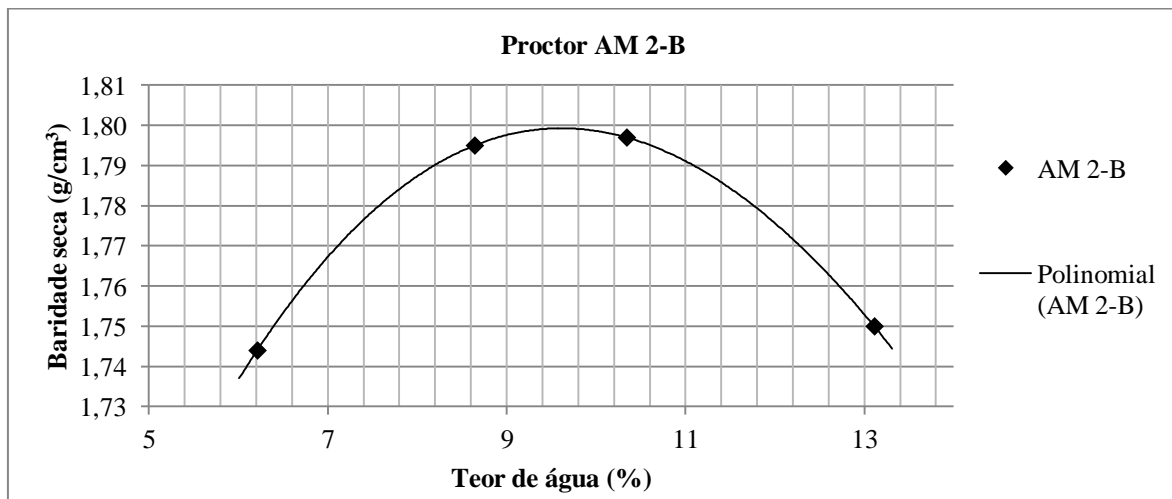
	<b>Universidade de Aveiro</b>		
	<b>LabCIVIL - Laboratório de Engenharia Civil</b>		

<b>Descrição do ensaio</b>	Ensaio de compactação (Proctor Modificado)		
<b>Norma de ensaio</b>	LNEC E 197 - 1966		
<b>Identificação da amostra</b>	AM 2-B	<b>Data</b>	19-06-2014
		<b>Operador</b>	Alexandre Outeiro

Toma de amostra	-	g
Resíduo ao peneiro 4,76 mm	-	g
Resíduo ao peneiro 4,76 mm	< 20	%
Resíduo ao peneiro 19 mm	-	g
Resíduo ao peneiro 19 mm	-	%

Molde pequeno		
Peso	3361,00	g
Volume	955,56	cm <sup>3</sup>

Massa amostra (g)	2500,00	2500,00	2500,00	2500,00
Teor em água (%)	8	10	14	16
Teor em água (ml)	200	250	350	400
Massa molde + Solo húmido (g)	5131	5224	5256	5252
Nº da cápsula	4	5	7	8
Massa da cápsula (g)	303,00	299,00	297,50	303,00
Massa cápsula + Solo húmido (g)	1578,0	2184,4	1240,8	2229,6
Massa cápsula + Solo seco (g)	1485,7	2010,6	1124,5	1971,1
Massa provete (g)	1770,00	1863,00	1895,00	1891,00
Baridade húmida (g/cm <sup>3</sup> )	1,85	1,95	1,98	1,98
Absorção de água (%)	6,21	8,64	10,34	13,11
Baridade seca (g/cm <sup>3</sup> )	1,744	1,795	1,797	1,750



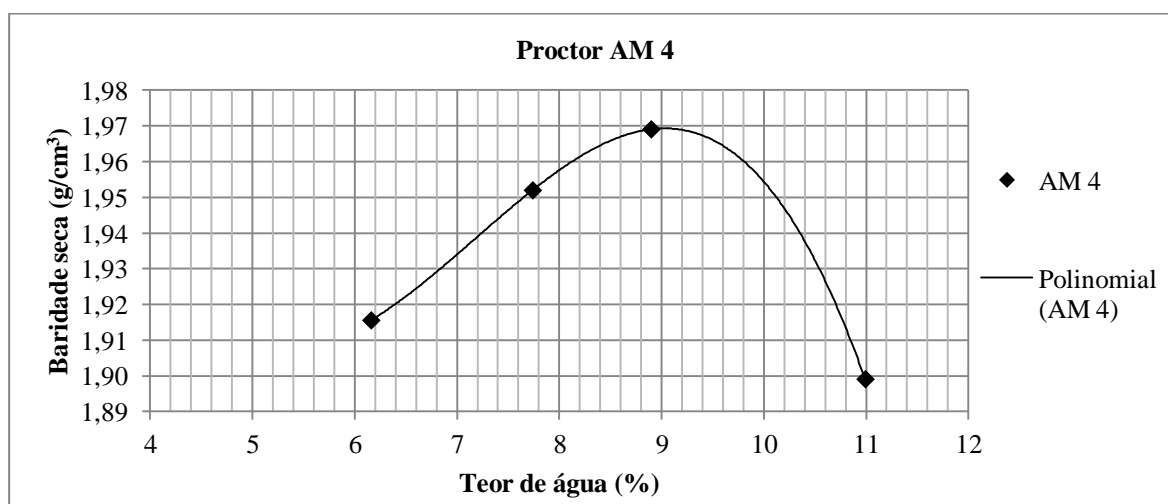
	<b>Universidade de Aveiro</b>
	<b>LabCIVIL - Laboratório de Engenharia Civil</b>

<b>Descrição do ensaio</b>	Ensaio de compactação (Proctor Modificado)		
<b>Norma de ensaio</b>	LNEC E 197 - 1966		
<b>Identificação da amostra</b>	AM 4	<b>Data</b>	18-06-2014
		<b>Operador</b>	Alexandre Outeiro


Toma de amostra	5000	g
Resíduo ao peneiro 4,76 mm	-	g
Resíduo ao peneiro 4,76 mm	> 20	%
Resíduo ao peneiro 19 mm	427	g
Resíduo ao peneiro 19 mm	8,54	%

Molde grande		
Peso	5077,00	g
Volume	2087,00	cm <sup>3</sup>

Massa amostra (g)	5000,00	5000,00	5000,00	5000,00
Teor em água (%)	8	10	12	14
Teor em água (ml)	400	500	600	700
Massa molde + Solo húmido (g)	9321	9466	9552	9476
Nº da cápsula	4	5	6	6
Massa da cápsula (g)	205,7	299,2	210,1	205,7
Massa cápsula + Solo húmido (g)	848,8	1393,8	964,6	1121,0
Massa cápsula + Solo seco (g)	799,6	1293,7	885,8	1010,0
Massa provete (g)	4244,00	4389,00	4475,00	4399,00
Baridade húmida (g/cm <sup>3</sup> )	2,03	2,10	2,14	2,11
Absorção de água (%)	6,16	7,74	8,90	10,99
Baridade seca (g/cm <sup>3</sup> )	1,916	1,952	1,969	1,899





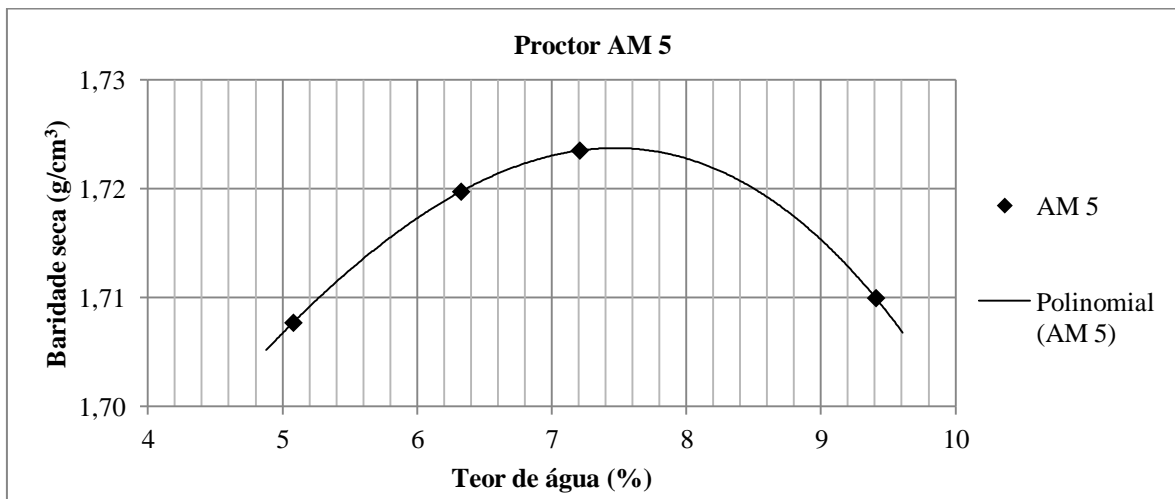
	<b>Universidade de Aveiro</b>
	<b>LabCIVIL - Laboratório de Engenharia Civil</b>

<b>Descrição do ensaio</b>	Ensaio de compactação (Proctor Modificado)		
<b>Norma de ensaio</b>	LNEC E 197 - 1966		
<b>Identificação da amostra</b>	AM 5	<b>Data</b>	8-07-2014
		<b>Operador</b>	Alexandre Outeiro

Toma de amostra	5000	g
Resíduo ao peneiro 4,76 mm	-	g
Resíduo ao peneiro 4,76 mm	> 20	%
Resíduo ao peneiro 19 mm	45,2	g
Resíduo ao peneiro 19 mm	0,90	%

Molde grande		
Peso	5077,00	g
Volume	2087,00	cm <sup>3</sup>

Massa amostra (g)	5100,00	5100,00	5100,00	5000,00
Teor em água (%)	8	10	12	14
Teor em água (ml)	408	510	612	700
Massa molde + Solo húmido (g)	8811	8882	8922	8970
Nº da cápsula	4	5	6	7
Massa da cápsula (g)	212,50	207,30	210,10	299,12
Massa cápsula + Solo húmido (g)	716,80	712,00	801,90	1442,20
Massa cápsula + Solo seco (g)	682,16	669,65	748,00	1318,20
Massa provete (g)	3734,00	3805,00	3845,00	3893,00
Baridade húmida (g/cm <sup>3</sup> )	1,79	1,82	1,84	1,87
Absorção de água (%)	5,08	6,32	7,21	9,41
Baridade seca (g/cm <sup>3</sup> )	1,703	1,715	1,719	1,705





	<b>Universidade de Aveiro</b>
	<b>LabCIVIL - Laboratório de Engenharia Civil</b>

<b>Descrição do ensaio</b>	Massa volúmica e absorção de água		
<b>Norma de ensaio</b>	NP EN 1097 - 6:2003		
<b>Identificação da amostra</b>	AM 1	<b>Data</b>	18-03-2014
		<b>Operador</b>	Alexandre Outeiro

Fração < 8 mm

Massas (g)	Picnómetro 72	Picnómetro 73	Picnómetro 81	
Picnómetro + Amostra saturada + Água (M2)	1160,5	1116,0	1138,9	
Picnómetro + Água (M3)	894,2	889,6	892,9	
Amostra saturada (M1)	455,7	388,0	420,8	
Amostra seca (M4)	449,0	382,4	415,2	
$\rho_a$ (Mg/m <sup>3</sup> )	2,46	2,45	2,45	2,45
$\rho_{rd}$ (Mg/m <sup>3</sup> )	2,37	2,37	2,38	2,37
$\rho_{ssd}$ (Mg/m <sup>3</sup> )	2,41	2,40	2,41	2,40
WA <sub>24</sub> (%)	1,5	1,5	1,4	1,4

Fração > 8 mm

Massas (g)	1º provete	2º provete	
Proвете + Cesto (M2)	562,2	555,0	
Cesto (M3)	130,4	130,4	
Amostra saturada (M1)	734,30	724,20	
Amostra seca (M4)	726,70	715,00	
$\rho_a$ (Mg/m <sup>3</sup> )	2,46	2,46	2,46
$\rho_{rd}$ (Mg/m <sup>3</sup> )	2,40	2,39	2,39
$\rho_{ssd}$ (Mg/m <sup>3</sup> )	2,43	2,42	2,42
WA <sub>24</sub> (%)	1,0	1,3	1,2

	<b>Universidade de Aveiro</b>
	<b>LabCIVIL - Laboratório de Engenharia Civil</b>

<b>Descrição do ensaio</b>	Massa volúmica e absorção de água		
<b>Norma de ensaio</b>	NP EN 1097 - 6:2003		
<b>Identificação da amostra</b>	AM 2	<b>Data</b>	28-03-2014
		<b>Operador</b>	Alexandre Outeiro

Fração < 8 mm

Massas (g)	Picnómetro 64	Picnómetro 73	Picnómetro 64	
Picnómetro + Amostra saturada + Água (M2)	1046,1	1050,0	949,3	
Picnómetro + Água (M3)	887,9	890,3	887,6	
Amostra saturada (M1)	280,49	277,41	107,98	
Amostra seca (M4)	257,56	253,80	99,63	
$\rho_a$ (Mg/m <sup>3</sup> )	2,59	2,70	2,63	2,64
$\rho_{rd}$ (Mg/m <sup>3</sup> )	2,11	2,16	2,15	2,14
$\rho_{ssd}$ (Mg/m <sup>3</sup> )	2,29	2,36	2,33	2,33
WA <sub>24</sub> (%)	8,9	9,3	8,4	8,9

	<b>Universidade de Aveiro</b>
	<b>LabCIVIL - Laboratório de Engenharia Civil</b>

<b>Descrição do ensaio</b>	Massa volúmica e absorção de água		
<b>Norma de ensaio</b>	NP EN 1097 - 6:2003		
<b>Identificação da amostra</b>	AM 2-B	<b>Data</b>	12-06-2014
		<b>Operador</b>	Alexandre Outeiro

Fração < 8 mm

Massas (g)	Picnómetro 72	Picnómetro 73	Picnómetro 81	
Picnómetro + Amostra saturada + Água (M2)	1092,17	1093,38	1098,23	
Picnómetro + Água (M3)	894,20	889,60	892,90	
Amostra saturada (M1)	341,38	351,41	350,54	
Amostra seca (M4)	318,08	327,61	329,34	
$\rho_a$ (Mg/m <sup>3</sup> )	2,65	2,65	2,66	2,65
$\rho_{rd}$ (Mg/m <sup>3</sup> )	2,22	2,22	2,27	2,24
$\rho_{ssd}$ (Mg/m <sup>3</sup> )	2,38	2,38	2,41	2,39
WA <sub>24</sub> (%)	7,3	7,3	6,4	7,0

	<b>Universidade de Aveiro</b>
	<b>LabCIVIL - Laboratório de Engenharia Civil</b>

<b>Descrição do ensaio</b>	Massa volúmica e absorção de água		
<b>Norma de ensaio</b>	NP EN 1097 - 6:2003		
<b>Identificação da amostra</b>	AM 3	<b>Data</b>	16-04-2014
		<b>Operador</b>	Alexandre Outeiro

Fração < 8 mm

Massas (g)	Picnómetro 64	Picnómetro 73	Picnómetro 77	Picnómetro 80	
Picnómetro + Amostra saturada + Água (M2)	1012	1013,75	623,55	626,29	
Picnómetro + Água (M3)	887,38	889,86	561,77	564,08	
Amostra saturada (M1)	213,87	215,54	107,53	107,52	
Amostra seca (M4)	200,36	199,97	99,64	100,00	
$\rho_a$ (Mg/m <sup>3</sup> )	2,65	2,63	2,63	2,65	2,64
$\rho_{rd}$ (Mg/m <sup>3</sup> )	2,24	2,18	2,18	2,21	2,20
$\rho_{ssd}$ (Mg/m <sup>3</sup> )	2,40	2,35	2,35	2,37	2,37
WA <sub>24</sub> (%)	6,7	7,8	7,9	7,5	7,5

Fração > 8 mm

Massas (g)	1º provete	2º provete	
Provete + Cesto (M2)	1047,30	1098,40	
Cesto (M3)	127,10	127,10	
Amostra saturada (M1)	1674,40	1743,70	
Amostra seca (M4)	1552,00	1607,60	
$\rho_a$ (Mg/m <sup>3</sup> )	2,46	2,53	2,49
$\rho_{rd}$ (Mg/m <sup>3</sup> )	2,06	2,08	2,07
$\rho_{ssd}$ (Mg/m <sup>3</sup> )	2,22	2,26	2,24
WA <sub>24</sub> (%)	7,9	8,5	8,2

	<b>Universidade de Aveiro</b>
	<b>LabCIVIL - Laboratório de Engenharia Civil</b>

<b>Descrição do ensaio</b>	Massa volúmica e absorção de água		
<b>Norma de ensaio</b>	NP EN 1097 - 6:2003		
<b>Identificação da amostra</b>	AM 3-B	<b>Data</b>	12-06-2014
		<b>Operador</b>	Alexandre Outeiro

Fração < 8 mm

Massas (g)	Picnómetro 22	Picnómetro 80	
Picnómetro + Amostra saturada + Água (M2)	718,29	653,48	
Picnómetro + Água (M3)	610,88	563,88	
Amostra saturada (M1)	188,63	155,40	
Amostra seca (M4)	174,63	144,20	
$\rho_a$ (Mg/m <sup>3</sup> )	2,60	2,64	2,62
$\rho_{rd}$ (Mg/m <sup>3</sup> )	2,15	2,19	2,17
$\rho_{ssd}$ (Mg/m <sup>3</sup> )	2,32	2,36	2,34
WA <sub>24</sub> (%)	8,0	7,8	7,9

Fração > 8 mm

Massas (g)	1º provete	2º provete	
Proвете + Cesto (M2)	778,20	745,20	
Cesto (M3)	125,70	125,60	
Amostra saturada (M1)	1176,30	1119,90	
Amostra seca (M4)	1102,70	1043,30	
$\rho_a$ (Mg/m <sup>3</sup> )	2,45	2,46	2,46
$\rho_{rd}$ (Mg/m <sup>3</sup> )	2,11	2,09	2,10
$\rho_{ssd}$ (Mg/m <sup>3</sup> )	2,25	2,24	2,24
WA <sub>24</sub> (%)	6,7	7,3	7,0

	<b>Universidade de Aveiro</b>
	<b>LabCIVIL - Laboratório de Engenharia Civil</b>

<b>Descrição do ensaio</b>	Massa volúmica e absorção de água		
<b>Norma de ensaio</b>	NP EN 1097 - 6:2003		
<b>Identificação da amostra</b>	AM 4	<b>Data</b>	30-04-2014
		<b>Operador</b>	Alexandre Outeiro


Fração < 8 mm

Massas (g)	Picnómetro 72	Picnómetro 73	Picnómetro 81	
Picnómetro + Amostra saturada + Água (M2)	1049,5	1044,6	1047,2	
Picnómetro + Água (M3)	894,2	889,6	892,9	
Amostra saturada (M1)	265,23	266,96	265,32	
Amostra seca (M4)	249,37	249,76	247,42	
$\rho_a$ (Mg/m <sup>3</sup> )	2,65	2,63	2,66	2,65
$\rho_{rd}$ (Mg/m <sup>3</sup> )	2,27	2,23	2,23	2,24
$\rho_{ssd}$ (Mg/m <sup>3</sup> )	2,41	2,38	2,39	2,40
WA <sub>24</sub> (%)	6,4	6,9	7,2	6,8

Fração > 8 mm

Massas (g)	1º provete	2º provete	
Provete + Cesto (M2)	713,10	698,40	
Cesto (M3)	127,00	126,50	
Amostra saturada (M1)	1055,25	1039,16	
Amostra seca (M4)	963,10	952,86	
$\rho_a$ (Mg/m <sup>3</sup> )	2,55	2,50	2,53
$\rho_{rd}$ (Mg/m <sup>3</sup> )	2,05	2,04	2,05
$\rho_{ssd}$ (Mg/m <sup>3</sup> )	2,25	2,22	2,24
WA <sub>24</sub> (%)	9,6	9,1	9,3



	<b>Universidade de Aveiro</b>		
	<b>LabCIVIL - Laboratório de Engenharia Civil</b>		

<b>Descrição do ensaio</b>	Massa volúmica e absorção de água		
<b>Norma de ensaio</b>	NP EN 1097 - 6:2003		
<b>Identificação da amostra</b>	AM 5	<b>Data</b>	30-04-2014
		<b>Operador</b>	Alexandre Outeiro

Fração < 8 mm

Massas (g)	Picnómetro 64	Picnómetro 73	Picnómetro 80	
Picnómetro + Amostra saturada + Água (M2)	1039,56	1041,14	641,05	
Picnómetro + Água (M3)	887,38	889,86	564,08	
Amostra saturada (M1)	272,97	272,12	139,32	
Amostra seca (M4)	250,02	249,76	127,53	
$\rho_a$ (Mg/m <sup>3</sup> )	2,56	2,54	2,52	2,54
$\rho_{rd}$ (Mg/m <sup>3</sup> )	2,07	2,07	2,05	2,06
$\rho_{ssd}$ (Mg/m <sup>3</sup> )	2,26	2,25	2,23	2,25
WA <sub>24</sub> (%)	9,2	9,0	9,2	9,1

Fração > 8 mm

Massas (g)	1º provete	2º provete	
Proвете + Cesto (M2)	701,90	696,80	
Cesto (M3)	127,30	126,90	
Amostra saturada (M1)	1043,52	1025,45	
Amostra seca (M4)	950,06	948,18	
$\rho_a$ (Mg/m <sup>3</sup> )	2,53	2,51	2,52
$\rho_{rd}$ (Mg/m <sup>3</sup> )	2,03	2,08	2,05
$\rho_{ssd}$ (Mg/m <sup>3</sup> )	2,23	2,25	2,24
WA <sub>24</sub> (%)	9,8	8,1	9,0